



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru

РИНЦ



№ 1(1)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2016



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам I международной заочной
научно-практической конференции*

№ 1 (1)
Декабрь 2016 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2016

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Копылов Алексей Филиппович – канд. тех. наук, доц. кафедры радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, Россия, г. Красноярск;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам I междунар. заочной науч.-практ. конф. – № 1 (1). – М.: Изд. «МЦНО», 2016. – 108 с.

ISBN 978-5-00021-088-8

Сборник входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.RU.

ББК 22+3

ISBN 978-5-00021-088-8

© «МЦНО», 2016

Оглавление	
Технические науки	6
Раздел 1. Технические науки	6
1.1. Авиационная и ракетнокосмическая техника	6
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ Саханов Канат Жаксылыкович Кадыров Медет Маратович	6
1.2. Информатика, вычислительная техника и управление	23
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ Казачек Нина Александровна Рябцов Владимир Андреевич	23
1.3. Машиностроение и машиноведение	28
МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОКЛАВА ДЛЯ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ Киргин Дмитрий Сергеевич Погодаева Анастасия Николаевна	28
1.4. Metallургия и материаловедение	34
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕФОРМЕРА УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ Тимофеева Анна Стефановна Гончаров Александр Иванович	34
1.5. Приборостроение, метрология и информационноизмерительные приборы и системы	39
ПРИМЕНЕНИЕ МЭМС-АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТЫ УГЛА В СОСТАВЕ ТРУБНЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ НАРУЖНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ Стрельников Игорь Витальевич Юдин Сергей Валерьевич Рябов Игорь Владимирович	39

1.6. Процессы и машины агроинженерных систем	49
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ Васильев Сергей Иванович	49
1.7. Радиотехника и связь	53
АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПО ЧАСТОТЕ ПОМЕХИ Чернова Инна Борисовна	53
1.8. Строительство и архитектура	59
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ Хазов Павел Алексеевич Рыжевская Яна Александровна Маматулина Мария Викторовна	59
1.9. Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности	64
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ МИГРАЦИИ ПЕРО-ПУХОВОГО УТЕПЛИТЕЛЯ В ОБЪЕМНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ Бекмурзаев Лёма Абдулхажиевич Фролова Наталья Владимировна	64
1.10. Электроника	78
ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД ДИАПАЗОНА 4-12 ГГЦ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 550 МВТ Балаболин Александр Григорьевич Титков Алексей Александрович Пенькевич Никита Алексеевич	78

Физико-математические науки	83
Раздел 2. Математика	83
2.1. Математическая логика, алгебра и теория чисел	83
АЛГОРИТМ ПЕРЕБОРА ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНО НЕЗАВИСИМЫХ ВЕКТОРОВ, ЭЛЕМЕНТЫ КОТОРЫХ ПРИНАДЛЕЖАТ МНОЖЕСТВУ $\{0,1\}$ Додонова Наталья Леонидовна Хантова Анна Дмитриевна	83
2.2. Теория вероятностей и математическая статистика	90
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНИВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ Емельянова Татьяна Вениаминовна Иващенко Анна Олеговна	90
Раздел 3. Физика	95
3.1. Оптика	95
ХЕМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕНСОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ СРЕД Сергеев Александр Александрович Сергеева Ксения Андреевна Дубинкина Екатерина Сергеевна Толстоногов Антон Юрьевич Кульчин Юрий Николаевич	95
3.2. Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика	103
ПОДБОР ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОР НА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛИСТИРОЛА Смирнов Андрей Владимирович	103

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Саханов Канат Жаксылыкович

*канд. техн. наук, Евразийский Национальный университет
имени Л.Н. Гумилёва,
РК, г. Астана*

Кадыров Медет Маратович

*магистрант, Евразийский Национальный университет
имени Л.Н. Гумилёва,
РК, г. Астана*

IMPROVEMENT OF THE THERMAL CONTROL SYSTEM OF SPACE CRAFTS

Kanat Sakhanov

*candidate of Engineering Sciences,
Eurasian National university named after L.N. Gumilev,
Kazakhstan, Astana*

Medet Kadyrov

*undergraduate, Eurasian National university named after L.N. Gumilev,
Kazakhstan, Astana*

Аннотация. Основными показателями качества космических аппаратов (КА) является их надежность и срок активного существования (САС) на орбите, и существенную роль в этом играет температурный режим внутри объема КА, где находятся приборы. Одна из позиций их стабильной работы заключается в создании определенного теплового режима в объеме конструкции, для чего служит система терморегулирования, при которой тепловой режим обеспечивается с помощью вентилятора, включающегося от термореле при заданной температуре.

Abstract. The main indicators of the quality of space vehicles (SV) are their reliability and lifetime (LT) in the orbit, and a significant role in this plays a temperature mode inside of SV, where are the devices. And one of their stable work is to create a specific thermal regime in the volume of construction, what is the thermal control system in which the heat mode is provided with fan provided by thermal relay at a given temperature.

Ключевые слова: космические аппараты; срок активного существования на орбите; температурный режим.

Keywords: space vehicles; Lifetime in orbit; temperature regime.

Основными показателями качества космических аппаратов (КА) является их надежность и срок активного существования (САС) на орбите [1]. С целью обеспечения надежной работы на первом спутнике ПС-1 («Простейший спутник первый»), запущенном 4 октября 1957 года, выполненном в виде сферического контейнера диаметром 580 мм, состоящего из двух сферических полуболочек, изготовленных из листового сплава АМгб толщиной 2 мм (см. рисунок) [2], использовалась система терморегулирования, при которой тепловой режим внутри объема спутника обеспечивался вентилятором, включавшимся от термореле при температуре, равной или выше 30 °С. При этом циркулирующий в системе терморегулирования азот осуществлял передачу тепла «холодной» задней полуболочке спутника, излучавшей избыток тепла в космическое пространство. При понижении температуры азота до 20-23 °С вентилятор выключался, что приводило (в отсутствие конвекции) к значительному увеличению теплового сопротивления между радиационной поверхностью и

внутренним объемом поверхности корпуса и, таким образом, предотвращало дальнейшее снижение температуры [3].

Срок активного существования спутника ПС-1 на орбите составил 3 месяца: запуск - 4 октября 1957 года, сход с орбиты - 4 января 1958 года.

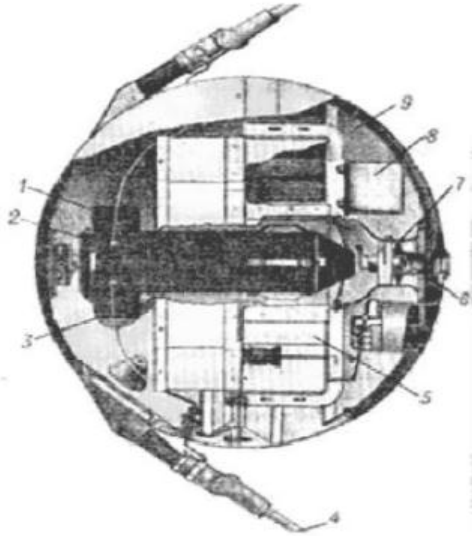


Рисунок 1. Конструктивная схема первого искусственного спутника Земли: 1 - двойное термореле системы терморегулирования; 2 - радиопередатчик; 3 - контрольные термо-и барореле; 4 - антенна, 5 - аккумуляторная батарея; 6 - вентилятор; 7 - диффузор; 8 - дистанционный переключатель; 9 - экран [4]

Спутник SESAT-1 стал базой для разработки и изготовления космических аппаратов серии «ЭкспрессАМ», которые сегодня составляют основу орбитальной телекоммуникационной группировки России [5]. Причем согласно Техническим требованиям к космическому аппарату «Экспресс АМУ2» [6], запуск которого запланирован на 2016 год [7], предусмотрен срок его активного существования не менее 15 лет с момента окончательной или условной приемки КА на орбите, что и было спрогнозировано ранее [8].

Активная система терморегуляции космического летательного аппарата

Имеются два механических устройства N_1 , N_2 – кривошипно-шатунные механизмы с центробежным насосом. Они превращают поступательное движение штока цилиндра во вращательное движение лопастей насоса. Насосы приводят в движение жидкий теплоноситель в правом и левом трубопроводах. Причем скорость движения жидкости v всегда направлена по часовой стрелке (рис. 1) вне зависимости от направления движения штока.

Трубопровод системы регуляции условно разделен на две части, правая часть имеет длину L_x , левая – L_y .

Скорость жидкости в трубопроводе v системы терморегуляции определим через скорость движения поршня $d\zeta/dt$:

$$v = b \left| \frac{d\zeta}{dt} \right|, \quad (1)$$

где постоянная b определяется внутренним устройством механизмов N_1 , N_2 .

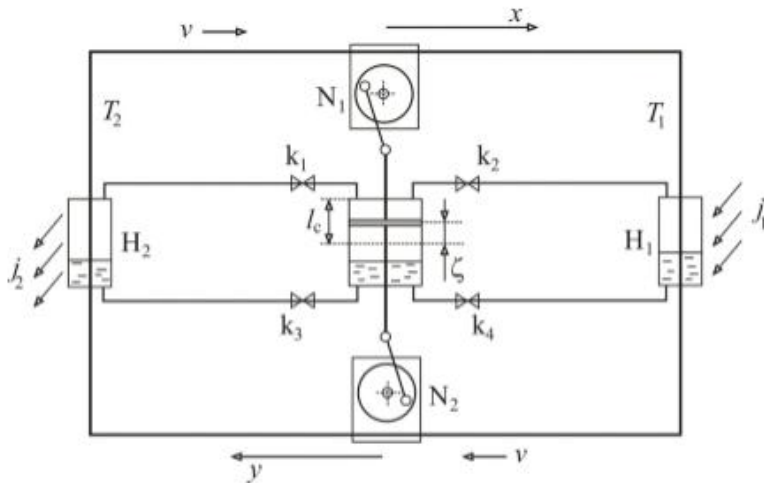


Рисунок 2. Кривошипно-шатунные механизмы с центробежным насосом

Термостаты H_1 и H_2 находятся в хорошем тепловом контакте с трубопроводами, одновременно они генерируют пар или же его переводят в жидкое состояние в зависимости от температуры. Легкокипящая жидкость имеет молярную массу μ и теплоту фазового перехода L_m .

Давления в термостатах H_1 и H_2 рассчитываем по уравнению Клапейрона – Клаузиуса:

$$p_1 = p_0 \exp \left[\frac{L_m \mu}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_1'} \right) \right], \quad p_2 = p_0 \exp \left[\frac{L_m \mu}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_2'} \right) \right], \quad (2)$$

где температура T_1' определена в точке $x = L_x/2$: $T_1' = T_1(t, L_x/2)$, соответственно температура T_2' определена в точке $y = L_y/2$: $T_2' = T_1(t, L_y/2)$. Базовое давление $p_0 = 10^5$ Па; R – универсальная газовая постоянная.

Температура в правом и левом трубопроводах $T_1(t, x)$, $T_2(t, x)$ определяются решением уравнений

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} + v \frac{\partial T_1}{\partial x} = \frac{j_1}{x_* c \rho}, \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} + v \frac{\partial T_2}{\partial y} = \frac{j_2}{x_* c \rho}.$$

Поток тепла от солнечного излучения полагаем постоянным: $j_1 = \text{const}$. Потеря тепла излучением в космическое пространство характеризуется потоком Стефана – Больцмана:

$$j_2 = -\sigma(T_2^4 - T_0^4).$$

Здесь σ – постоянная Стефана – Больцмана; T_0 – равновесная температура реликтового излучения, равная 2.725 К.

Запишем уравнения для температур в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial t} + v \frac{\partial T_1}{\partial x} &= J_0, \quad J_0 = \frac{j_1}{x_* c \rho}, \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} + v \frac{\partial T_2}{\partial y} &= -\beta(T_2^4 - T_0^4), \quad \beta = \frac{j_2 \sigma}{x_* c \rho}. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения температур дополняются граничными условиями

$$\begin{aligned} T_1(t, x = 0) &= T_2(t, y = L_y); \\ T_2(t, y = 0) &= T_1(t, x = L_x). \end{aligned} \quad (4)$$

Для записи уравнений движения поршня цилиндра определим следующий алгоритм действия клапанов k_i , $i = 1, \dots, 4$. При движении вверх клапаны k_1 , k_4 открыты, клапаны k_2 , k_3 находятся в закрытом положении. При движении вниз клапаны k_1 , k_4 находятся в закрытом положении, а клапаны k_2 , k_3 – открыты. Переключение клапанов происходит при достижении поршня верхней и нижней крайней точки. Масса поршня m , плотность теплоносителя ρ , эффективное сечение трубопровода системы терморегуляции S_t , система характеризуется коэффициентом гидравлического сопротивления C_f .

Таким образом, уравнения движения с учетом переключения клапанов можно записать в виде:

$$m \frac{d^2 \zeta}{dt^2} + k \frac{d\zeta}{dt} = \text{sign} \cdot S_c (p_1 - p_2) - C_f \frac{S_t \rho v^2}{2}, \quad (5)$$

где sign принимает значение $+1$ (или -1) на начальном этапе расчета. После достижения выполнения равенства $\zeta = -\delta \cdot l_c$ или $\zeta = \delta \cdot l_c$ ($0 < \delta < 1$), sign меняет знак: $\text{sign} \rightarrow -\text{sign}$. Но здесь имеется два возможных технических решения при достижении крайних точек $\zeta = -\delta \cdot l_c$ или $\zeta = \delta \cdot l_c$:

1) жесткая остановка поршня: координата и скорость мгновенно обнуляются $\zeta = d\zeta/dt = 0$;

2) мягкая остановка поршня: координата ζ и скорость $d\zeta/dt$ сохраняют прежние значения и очень короткое время продолжают двигаться по инерции

Давление в цилиндрической камере экспоненциально зависит от температуры. Относительно небольшие изменения температуры могут привести к значительному росту давления за короткий промежуток времени и, как следствие, такому же росту скорости движения поршня. Поэтому для устойчивого и плавного движения поршня требуется сила сопротивления. В данной модели такая сила учитывается коэффициентом k и сомножителем $d\zeta/dt$.

Численные схемы для решения уравнений.

Для численного решения уравнений (3) применялась неявная схема. Эти уравнения одинакового типа. Поэтому для приведения их разностных форм и общности изложения вместо температур используем символ T , а для свободных членов с потоками тепла – символ F . Таким образом, можем записать

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x} = F. \quad (6)$$

Пусть время отсчитывается с шагом τ , числа шагов нумеруем индексом k . Аналогично переменная x пространственной координаты отсчитывается с шагом h и индексом i . Тогда (6) в разностной форме примет вид

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\tau} + v \frac{T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1}}{h} = F_i^k.$$

Отсюда получим

$$T_i^{k+1} = \frac{T_i^k + \frac{\tau v}{h} T_{i-1}^{k+1} + \tau F_i^k}{1 + \frac{\tau v}{h}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Для решения уравнения (5) применялся метод Эйлера – Крамера, имеющий второй порядок точности по шагу τ .

Работа системы терморегуляции сильно зависит от геометрических размеров камеры и физических свойств легкокипящей жидкости. Ниже на рис. 2 – 5 приведены результаты моделирования системы с рабочей жидкостью циклопентан (C_5H_{10}). Ее молекулярный вес $\mu = 0.07$ кг/моль, Равновесная температура кипения $T_b = 49.26$ °C при 760 мм.рт.ст.; теплота фазового перехода $L = 391$ кДж/кг; плотность $\rho = 726$ кг/м³.

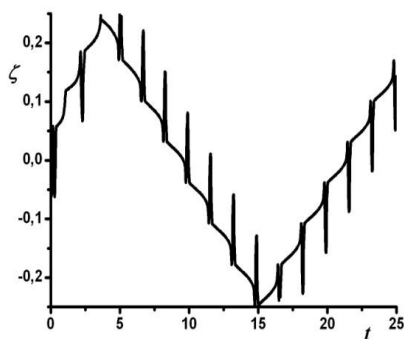


Рисунок 3. Зависимость ζ от времени.

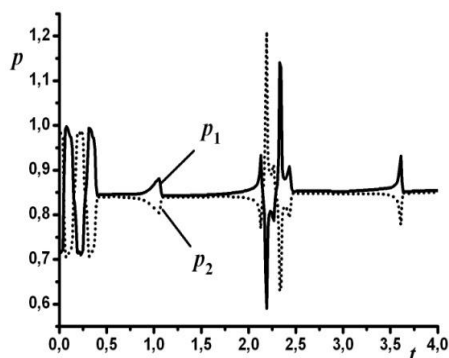


Рисунок 4. Зависимость p_1/p_0 и p_2/p_0 от времени

Остальные параметры следующие: $\beta = 10^{-9} \text{ 1}/(\text{с}\cdot\text{К}^3)$, $J_0 = 10.4 \text{ К}/\text{с}$, $r_c = 0.05 \text{ м}$, $r_i = 0.005 \text{ м}$, $l_c = 1.0 \text{ м}$, $\delta = 0.25$, $b = 50$; $m = 0.5 \text{ кг}$, $k = 150 \text{ 1}/\text{с}$, $C_f = 0.03$.

Численное моделирование проводилось в физических переменных. При этом шаг интегрирования по времени $\tau = 2.5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$. Начальные условия для температур $T_1 = 312 \text{ К}$, $T_2 = 322 \text{ К}$; для поршня приняты условия $\zeta = 0$, $d\zeta/dt = 0$.

Остановка поршня при достижении крайних точек $\zeta = -\delta \cdot l_c$ или $\zeta = \delta \cdot l_c$ производится в жестком режиме.

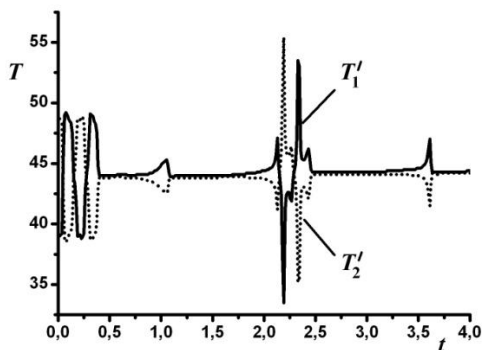


Рисунок 5. Зависимость температуры T_1' и T_2' (°C) от времени

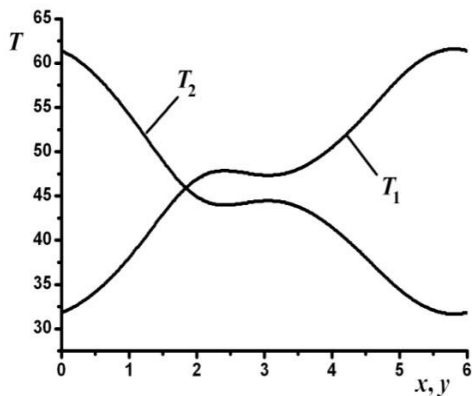


Рисунок 6. Распределение температуры (°C) по контуру
трубопровода, время $t = 25$ с

На всем этапе расчета наблюдаются сильные и практически периодические колебания давления в камере (рис. 4), поршня (рис. 2) и скорости теплоносителя. Аналогичные колебания имеют место и в

каждой фиксированной точке контура трубопровода, в частности, в местах размещения термостатов (рис. 4).

Сближение T_1' и T_2' (рис. 4) означает нагрев холодной части системы, и относительно небольшое охлаждение горячей части. Т.е. система терморегуляции в целом выполняет свою функцию.

На рис. 5 изображено пространственное распределение температуры теплоносителя по контуру системы в момент времени $t = 25$ с. Согласно выбранным началам отсчета координат x , y конечному значению температуры $T_1(x = 6)$ соответствует начальное значение температуры $T_2(y = 0)$. И наоборот, конечному значению $T_2(y = 6)$ соответствует начальное значение $T_1(x = 0)$. Таким образом, на рис. 5 изображено распределение теплоносителя по замкнутой линии трубопровода системы терморегуляции.

Модифицированная система терморегуляции.

Приведенные выше результаты показывают неудовлетворительную работу системы: непериодические и резкие изменения параметров (давления p_1 , p_2 скорости v и смещение поршня ζ) затрудняют использование предлагаемого устройства.

Поэтому схема системы терморегуляции подверглась изменению: добавлены резервуары V_1 , V_2 для относительно плавного изменения давления в цилиндрической камере (рис. 6). Все резервуары имеют одинаковый объем V .

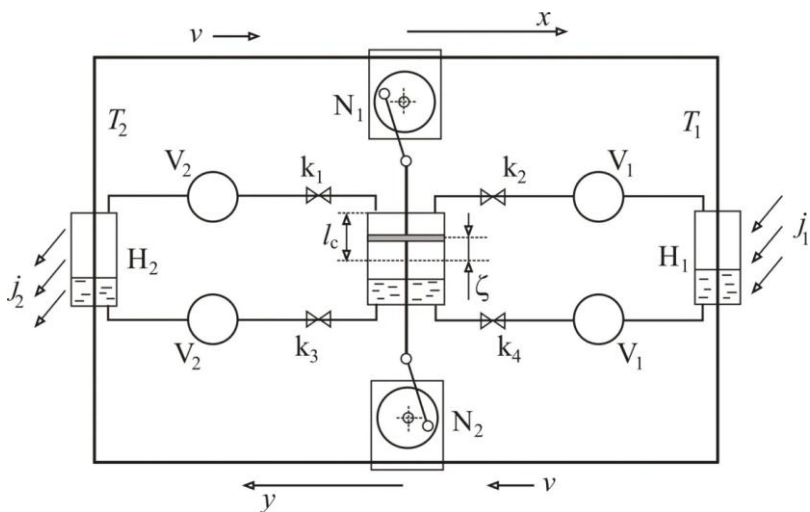


Рисунок 7. Модернизированное устройство терморегуляции

Для заполнения резервуаров паром легкокипящей жидкости и установления в них равновесного давления требуется некоторое время. Массовая скорость испарения q (кг/м²с) с поверхности жидкости дается уравнением Герца – Кнудсена [1]

$$q = \alpha \sqrt{\frac{\mu}{2\pi RT}} (p_s - p),$$

где α – коэффициент аккомодации; p – действительное давление паров жидкости; p_s – равновесное давление паров при температуре T по закону Клапейрона – Клаузиуса

$$p_s = p_0 \exp \left[\frac{L_m \mu}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T} \right) \right].$$

Количество поступающей массы в объем V из поверхности жидкости S_f за единицу времени Δt равно $qS_f\Delta t$. Эта масса должна быть равна приросту массы Δm в объеме V : $\Delta m = qS_f\Delta t$. Поделив обе части на Δt и устремив к нулю приращения, получим дифференциальное уравнение $dm/dt = qS_f$.

Если пренебречь изменениями объема и температуры по сравнению с изменением давления, то с помощью уравнения Менделеева – Клапейрона $pV = mRT/\mu$ можно записать

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{\mu V} qS_f = \frac{S_f \alpha}{V} \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} (p_s - p).$$

Это уравнение применяется для правой и левой частей системы. Поэтому теперь давления p_1, p_2 находим как решения уравнений

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{S_f \alpha}{V} \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} (p_{s,1} - p_1), \quad \frac{dp_2}{dt} = \frac{S_f \alpha}{V} \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} (p_{s,2} - p_2), \quad (7)$$

$$p_{s,1} = p_0 \exp \left[\frac{L_m \mu}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_1'} \right) \right], \quad p_{s,2} = p_0 \exp \left[\frac{L_m \mu}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_2'} \right) \right].$$

В дальнейшем при численном моделировании введем параметр χ :

$$\chi = \frac{S_f \alpha}{V} \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}}. \quad (8)$$

В приведенных ниже результатах расчета (рис. 7 – 10) принято $\chi = 1$. Начальные условия для давлений следующие: $p_1 = 10^5$, $p_2 = 0.8 \cdot 10^5$. Все остальные постоянные параметры остаются неизменными.

Остановка поршня при достижении крайних точек $\zeta = -\delta \cdot l_c$ или $\zeta = \delta \cdot l_c$ производится в жестком режиме.

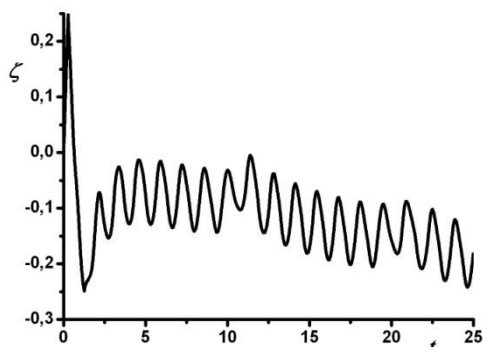


Рисунок 8. Зависимость смещения поршня ζ от времени

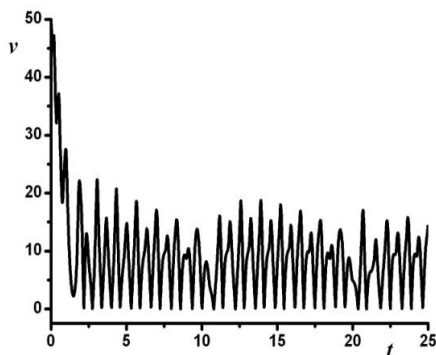


Рисунок 9. Зависимость скорости теплоносителя ν от времени

Здесь ясно видно качественное изменение в динамике, колебания стали более «мягкими»: сильных и импульсивных движений, подобных удару, теперь уже меньше. Высокочастотные колебания есть, но их амплитуда заметно меньше, чем в предыдущем случае.

Наблюдающиеся частые изменения скорости теплоносителя по сравнению с изменениями координаты поршня легко объяснить: скорость теплоносителя v пропорциональна модулю скорости движения поршня, поэтому частота изменения скорости теплоносителя будет в два раза больше частоты изменения скорости поршня.

По этой же причине частота изменения температуры теплоносителя будет равна частоте изменения ее скорости.

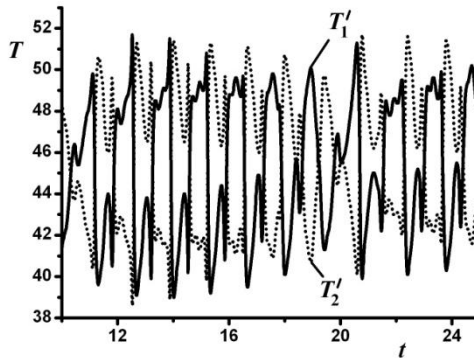


Рисунок 10. Зависимость температуры T_1' и T_2' (°C) от времени

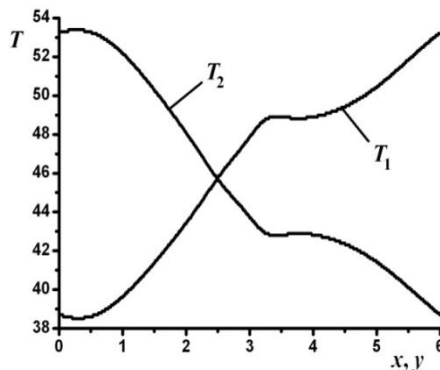


Рисунок 11. Распределение температуры (°C) по контуру трубопровода, время $t = 25$ с

Следующее моделирование проведено с параметрами:

$$\begin{aligned} \beta &= 10^{-9} \text{ 1/(с}\cdot\text{К}^3), J_0 = 10.4 \text{ К/с}, \\ r_c &= 0.05 \text{ м}, r_t = 0.005 \text{ м}, l_c = 1.0 \text{ м}, \delta = 0.25, \\ b &= 50; m = 0.5 \text{ кг}, k = 10.0 \text{ 1/с}, C_f = 0.03; \chi = 0.5. \end{aligned}$$

Начальные условия для давлений следующие: $p_1 = 0.88 \cdot 10^5$, $p_2 = 0.86 \cdot 10^5$. Как видно, теперь коэффициент сопротивления k уменьшен в 15 раз и χ снижен в два раза.

Рассмотрим вначале результаты (рис. 11 – 14) с жесткой остановкой поршня при достижении ею верхних и нижних крайних точек.

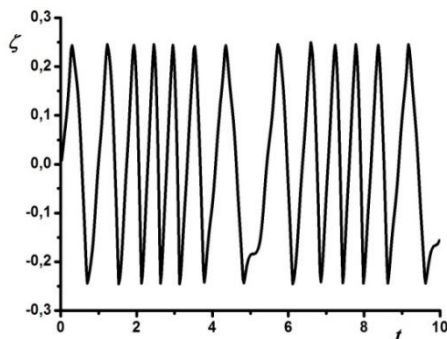


Рисунок 12. Зависимость смещения поршня ζ от времени

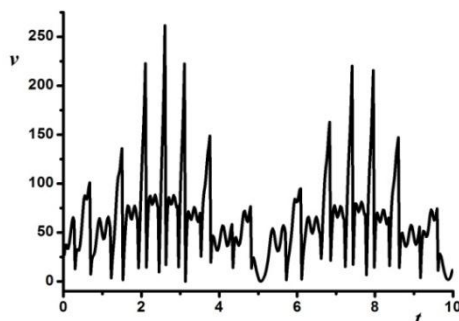


Рисунок 13. Зависимость скорости теплоносителя v от времени

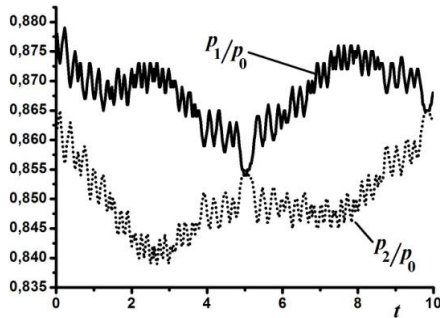


Рисунок 14. Зависимость безразмерного давления p_1/p_0 и p_2/p_0 от времени

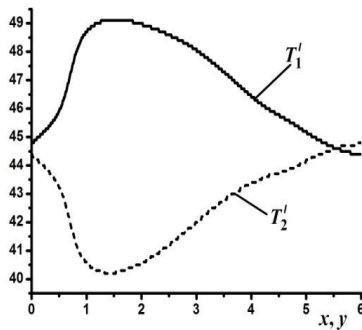


Рисунок 15. Распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) по контуру трубопровода, время $t = 10$ с.

Если же остановка поршня производится в мягком режиме, то наблюдается качественно другой режим работы регулятора (рис. 15 – 18).

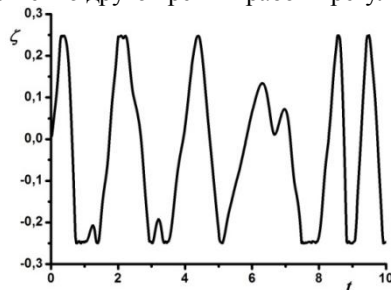


Рисунок 16. Зависимость смещения поршня ζ от времени

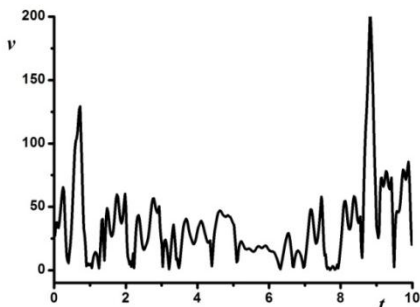


Рисунок 17. Зависимость скорости теплоносителя v от времени.

Из приведенных результатов можно заключить, что жесткая остановка поршня вносит регулярность (упорядоченность) в движение поршня. Вносимые условия $\zeta = 0$, $d\zeta/dt = 0$ при достижении поршнем крайних точек $\zeta = -\delta \cdot l_c$ или $\zeta = \delta \cdot l_c$ означает воздействие на поршень кратковременного импульса.

В мягком режиме, когда поршень предоставлен самому себе и обращает свое движение только под действием сил давления, динамика системы становится нерегулярной. В некоторые моменты времени, например, между 2.2 и 6.3 секундами (рис. 17) давление p_2 становится больше p_1 .

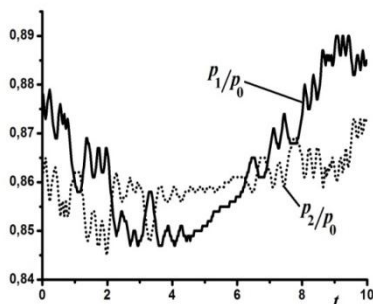


Рисунок 18. Зависимость безразмерного давления p_1/p_0 и p_2/p_0 от времени

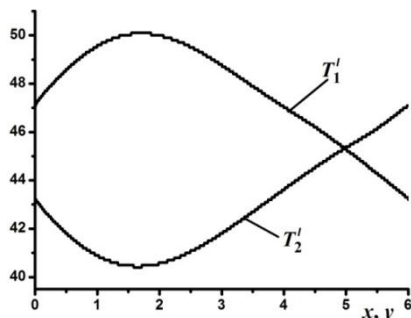


Рисунок 19. Распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) по контуру трубопровода, время $t = 10$ с

Но расчет, проведенный до $t = 25$ с, показал восстановление регулярного режима работы системы: смещение поршня становится периодическим, скорость теплоносителя не характеризуется слишком большими скачками и давление p_1 всегда больше p_2 .

Список литературы:

1. Афанасьев И. Б., Лавренов А. Н. Большой космический клуб. М.: Изд. дом «Новости космонавтики»: РТСОфт, 2006. 256 с.
2. В «Космической связи» намерены создать спутник «Экспресс-АМУ2» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.osp.ru/news/2013/1023/13021548/> (дата обращения 22.07.2014).
3. Кнаке О., Странский И. Н. Механизм испарения // Успехи физических наук. 1959. Т. LXVIII, вып. 2. С. 261 – 305. [Knacke J. and Stransky I. N. Evaporation mechanism. Progress in Metal Physics. 1956. No. 6. Pp. 181 –
4. Околоземный орбитальный космический аппарат «Спутник-1» («ПС-1»). URL: <http://apervushin.narod.ru/encl/sputnik/ussr/sputnik01/sp1.htm> (дата обращения 14.07.2014).
5. Отечественные спутники связи. Новости космонавтики [Электронный ресурс]. URL: http://www.rssc.ru/files/images/tt_amu2.pdf (дата обращения 20.07.2014).
6. Патраев В. Е., Максимов Ю. В. Методы обеспечения надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов длительного функционирования // Изв. высших учебных заведений. Приборостроение, 2008. Т. 51, № 8. С. 5-12.
7. Первый искусственный спутник Земли [Электронный ресурс]. URL: http://godkosmicheskoyjery.ru/1-isz2_1.html (дата обращения 14.07.2016).
8. Пресс-служба ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва». 16.04.2010. URL: <http://www.federalospace.ru/9832/> (дата обращения 18.07.2016).

1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Казачек Нина Александровна

*ассистент, Московский технологический университет (МИРЭА),
РФ, г. Москва*

Рябцов Владимир Андреевич

*стажер-исследователь научной лаборатории кафедры проблем
управления, Московский технологический университет (МИРЭА),
РФ, г. Москва*

AUTOMATED FUZZY CONTROLLERS DESIGN FOR INDUSTRIAL PLANTS

Nina Kazachek

*assistant, Moscow Technological University (MIREA),
Russia, Moscow*

Vladimir Ryabcov

*trainee researcher of scientific laboratory of the Control Problems
Department, Moscow Technological University (MIREA),
Russia, Moscow*

Аннотация. В настоящей работе предлагается решение задачи автоматизированного синтеза нечеткого регулятора для промышленных объектов. На основе проведенных теоретических исследований разработан алгоритм синтеза структуры и параметров нечеткого регулятора на основе данных о модели промышленного объекта управления и требований к качественным характеристикам САУ, который доведен до программной реализации.

Abstract. In this paper, the solution of the automated fuzzy controller design for industrial plants is offered. On the basis of theoretical research,

synthesis algorithm of structure and parameters of fuzzy controller based on the model of the industrial plants and qualitative requirements data to ACS is designed and brought to the software implementation.

Ключевые слова: нечеткий регулятор; автоматизированный синтез; параметры нечеткого регулятора; автоматизация настройки и синтеза; промышленные объекты.

Keywords: fuzzy control, automated design, the parameters of the fuzzy controller, automation of settings and synthesis, industrial plants.

В рамках проведенных исследований авторами в [1, 4] показано, что нечеткий регулятор во многих случаях может обеспечить существенно лучшие (по сравнению с классическим ПИД-регулятором) качественные характеристики процесса управления (в частности, время регулирования и перерегулирования).

Объясняется это тем, что нечеткий регулятор реализует нелинейное преобразование, с помощью которого можно не только повысить быстродействие САУ, но и обеспечить уменьшение ошибки от действия возмущения. Характер этого нелинейного преобразования зависит от параметров нечёткого логического вывода (НЛВ), таких как вид и число функций принадлежности, их взаимное расположение, база правил и т.д. таким образом, меняя (на программном уровне) параметры НЛВ, можно менять (настраивать) характер нелинейного преобразования и, соответственно, обеспечивать требуемые показатели качества управления [4, 1].

В данной работе разрабатывается методика построения желаемого нелинейного преобразования путем вариации параметров НЛВ. На основании проведенных исследований [1, 4, 2] создана методическая база для построения трехканальных (П-, И-, Д-) нечетких регуляторов, на основе которой решается задача создания программно-алгоритмического комплекса для автоматизированного синтеза нечетких регуляторов.

Основные этапы обобщенной реализации алгоритма [4] для любого типа объекта управления (статического или астатического) можно описать следующим образом:

1. Считывание введенных пользователем параметров объекта управления, входной уставки и величины внешнего возмущения, а также требований к показателям качества синтезируемой САУ;

2. Определение предельного коэффициента усиления линейной системы;

3. Определение коэффициента П-регулятора, обеспечивающего требуемую величину установившейся ошибки (помимо случая

отработки ступенчатого сигнала без внешних воздействий в астатических САУ). Определение устойчивости САУ с рассчитанным коэффициентом;

4. Синтез классического ПИД-регулятора методом Зиглера-Никольса;

5. Определение показателей качества САУ;

6. Синтез нечеткого П-регулятора, настройка нелинейного преобразования П-канала регулятора – применение алгоритма расчета контрольных точек (алгоритм РКТ) перелома нелинейного преобразования, описанного в [4];

7. Проверка системы с синтезированным нечетким П-регулятором на устойчивость с помощью модифицированного метода гармонического баланса;

8. В случае невыполнения всех требований к показателям качества - синтез И и/или Д-каналов нечеткого регулятора с аналогичным применением алгоритма РКТ перелома нелинейности;

9. Вывод на экран результатов синтеза: переходный процесс системы с синтезированным нечетким регулятором (НР), набор параметров синтезированного НР.

Каждый этап представляет собой заверченный программный модуль. После выполнения всех шагов алгоритма, программа выводит на экран результаты синтеза: параметры нечеткого регулятора, вид нелинейной характеристики, переходной процесс и анализ устойчивости (рис.1).

За счет правильного выбора параметров нелинейного преобразования даже нечеткий П-регулятор дает хорошие показатели.

Нарращивая структуру регулятора путем добавления нечеткого И-канала можно обеспечить высокое качество управления в следящих системах при обработке сложных входных воздействий. Кроме того, на основе построенного трехканального (П-, И-, Д-) НР и возможности реализовать практически любые нелинейные преобразования открывается возможность создания четырехканальных нечетких регуляторов, в которых четвертый канал используется для компенсации внешних возмущений.

Необходимо отметить, что системы управления с нечеткими регуляторами – это новый класс систем, методика исследования которых пока разработана недостаточно и, что не менее важно, не адаптирована к требованиям широкой инженерной практики. Представление нечеткого регулятора в виде нелинейного преобразования, полученное авторами в [3,4], обеспечило возможность модификаций методов теории нелинейных САУ применительно к нечетким САУ.

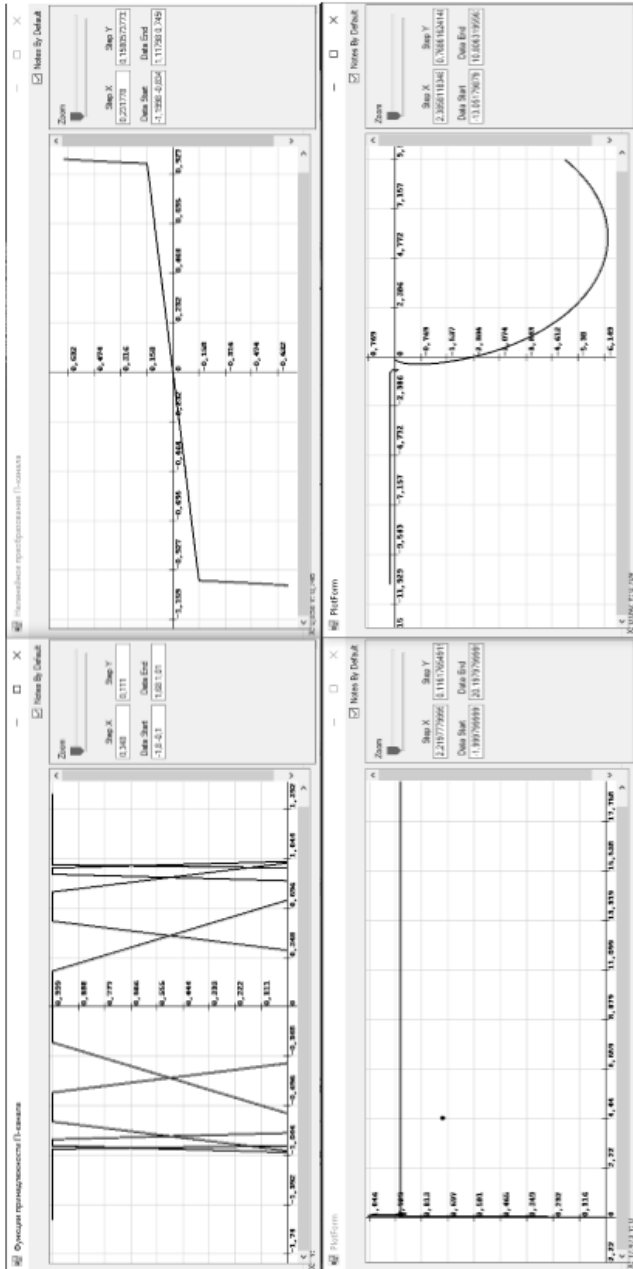


Рисунок 1. Результаты работы программного комплекса

Несмотря на то, что представление нечеткого регулятора в виде нелинейного преобразования вносит существенную ясность в создание методики исследования нечетких САУ, проблема синтеза нечеткого регулятора остается достаточно сложной, поскольку число настраиваемых параметров существенно больше, чем в традиционном ПИД – регуляторе.

Поэтому в работе решена задача создания программно-алгоритмического комплекса для автоматизированного синтеза нечетких регуляторов (АСНР).

Алгоритм работы комплекса АСНР построен на методике синтеза, обобщающей все этапы теоретических исследований авторов [1-4], программное обеспечение написано на языке С#. Приведены соответствующие инструкции программиста и пользователя. Экспериментальные исследования, проведенные на примерах нечетких систем управления промышленными объектами, показали, что время синтеза нечеткого регулятора составляет 1-5 минут (в зависимости от числа каналов синтезируемого нечеткого регулятора). Разработанный программный комплекс АСНР передан на эксплуатацию кафедре проблем управления МИРЭА для выполнения курсового проектирования и выпускных квалификационных работ по направлениям «Мехатроника и робототехника» (профиль «Автономные роботы») и «Управление в технических системах» (профиль «Автономные информационно-управляющие системы»).

Список литературы:

1. Интеллектуальные системы автоматического управления/Макаров И.М., Лохин В.М. и др., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 576с.
2. Научно-технический отчет по годовому этапу научно-исследовательской работы № 784 в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/112 за 2015 год.
3. Ч.1. Нечеткие регуляторы (методика построения, примеры), эл. уч. пособие серии «Интеллектуальные регуляторы и системы управления»/Казачек Н.А., Лохин В.М. и др. МИРЭА, 2014.
4. Ч.2. Анализ и синтез систем управления с нечеткими регуляторами, эл. уч. пособие серии «Интеллектуальные регуляторы и системы управления»/Казачек Н.А., Лохин В.М. и др. МИРЭА, 2015.

1.3. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОКЛАВА ДЛЯ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Киргин Дмитрий Сергеевич

*канд. техн. наук, доцент, Иркутский национальный
исследовательский технический университет,
РФ, г. Иркутск*

Погодаева Анастасия Николаевна

*магистрант, Иркутский национальный
исследовательский технический университет,
РФ, г. Иркутск*

MODERNIZATION OF RUBBER CURING AUTOCLAVE

Dmitri Kirgin

*candidate of Technical Sciences,
assistant professor in Irkutsk National Research Technical University,
Russia, Irkutsk*

Anastasiia Pogodaeva

*master's degree student, Irkutsk National Research Technical University,
Russia, Irkutsk*

Аннотация. В статье рассматривается конструкция автоклава для вулканизации резиновых изделий АВТМ 2000-4000-12,5. Разобран принцип работы, выявлены недостатки. Предлагается конструкция альтернативного устройства, разработанная авторами статьи, позволяющая заменить источник тепла (паровой нагрев на электрический).

Abstract. The article deals with the design of rubber curing autoclave “АВТМ 2000-4000-12,5” (product of Kurgankhimmash LLC). The article gives a detailed description of principle of operation and analyzes imperfections. Authors of article developed an alternative device and offer it to use that allow to substitute the heat source (steam heating to electric).

Ключевые слова: автоклав; технологическое оборудование; автоматизация.

Keywords: autoclave; technological equipment; automation.

В резинотехнической отрасли промышленности процесс термообработки под давлением называется вулканизацией. Вулканизация – процесс, при котором пластичный («сырой») каучук превращается в резину. В результате вулканизации фиксируется форма изделия и оно приобретает необходимые свойства. Для реализации процесса вулканизации широко используются автоклавы [4]. Автоклав – это герметичный аппарат для ускоренного проведения физико-химических процессов при нагреве и повышенном давлении различных технологических изделий.

Конструкции и основные параметры промышленных автоклавов разнообразны, их ёмкость может составлять от нескольких десятков см³ до сотен м³, и предназначены они для работы под давлением до 150 МН/м² температуре до 500 °С. В автоклавах используются различные виды нагрева: паровой, с помощью горячей воды, индукционный, аэродинамический, электрический [1].

В данной работе предложен обзор автоклава АВТМ 2000-4000-12,5 (автоклав вулканизационный тупиковый без паровой рубашки механизированный горизонтальный с внутренним диаметром 2000 мм, длиной цилиндрической части 4000 мм, рабочим давлением 1,25 Мпа предназначенного для вулканизации в паровой среде неформовых и других резинотехнических изделия с аналогичными режимами вулканизации. Данный автоклав послужил базой для научных исследований, проведенных в настоящей работе.

Эскизная схема автоклава представлена на рисунке 1. Автоклав состоит из следующих основных сборочных единиц: 1 - корпус; 2 - механизм поворота; 3 - байонетовый затвор; 4 - мостик подъемный; 5 - путь рельсовый; 6 - привод тележки; 7 - станция насосная; 8 - щит управления; 9 - пульт управления; 10 - тележка; 11 - цепь.

Процесс вулканизации (варки) подразумевает собой термообработку изделий паром при определенной температуре и давлении. Поэтому автоклав имеет сложную систему пневмоклапанов предназначенных для поддержания постоянства этих двух величин. В эту систему входит шесть клапанов: клапан подачи пара магистральный; клапан подачи пара управления; клапан сброса конденсата ДУ – 50 (диаметр трубы 50 мм); клапан сброса конденсата ДУ – 25; клапан связи с атмосферой; клапан подачи сжатого воздуха в автоклав.

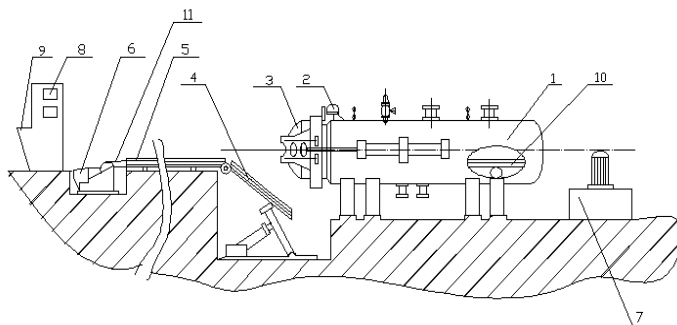


Рисунок 1. Схема автоклава АВТМ 2000-4000-12,5

Управление вентилями осуществляется сжатым воздухом из пневмосистемы. Для того, что бы начать процесс вулканизации, оператору необходимо закрыть вентили связи с атмосферой и сброса конденсата, включить гидростанцию; установить тележку внутри автоклава; опустить мостик; закрыть крышку, кольцо; отключить гидростанцию. Затем закрыв вентили связи с атмосферой и сброса конденсата, включить подачу давления в уплотнение, убедиться в наличии давления в уплотнительной прокладке, и только после этого приступить к первому этапу технологического процесса.

На этапе подготовки оператор должен периодически включать и выключать подачу пара в автоклав, следя затем, что бы температура и давление внутри сосуда вышли на заданные значения за промежуток времени. В обязанности оператора так же входит периодическое открытие и закрытие вентиля сброса конденсата, чтобы предотвратить накапливание конденсата на днище автоклава.

Охлаждение установки производится отключением вентиля подачи пара, открытием вентиля сброса конденсата и связи с атмосферой. В конце этого этапа оператор включает подачу воздуха внутрь автоклава.

После того как температура в автоклаве упадет до нужного уровня, выключается подача воздуха в автоклав. Как только давление внутри сосуда опустится до допустимой нормы, включается выдержка времени, по истечению которой, снимется блокировка на открытие кольца.

Вышеописанный способ регулирования параметров технологического процесса термообработки резиновых изделий морально устарел и требует модернизации управления с применением современных средств автоматизации. Паровой нагрев обеспечивает

хорошую теплопередачу внутри автоклава, однако регулирование нагрева паром весьма энергозатратно, поскольку значительная часть тепла тратится на нагрев металлической части установки, а также уходит вместе с конденсатом при его сливе.

Авторами статьи предлагается альтернативный метод, позволяющий заменить источник тепла (паровой нагрев на электрический). В связи с этим, появляется возможность создать независимую систему регулирования температуры и давления. В качестве электрического источника тепла для нарастания температуры могут быть использованы теплоэлектронагреватели, а регулирование давления в емкости может осуществляться с помощью сжатого воздуха из пневмосистемы предприятия или от автономного компрессора[2]. На данную разработку имеется патент РФ №122590.

Использование предлагаемого способа нагрева в камере для автоклавной тепловой обработки резиновых изделий под избыточным давлением позволит исключить ряд недостатков исследуемой установки и создать такую конструкцию емкости, которая обеспечит сокращение энергозатрат на термообработку деталей, при этом улучшит качество управления технологическим процессом производства резины вследствие независимого регулирования температуры и давления. Исключение парового нагрева, а соответственно и влажной среды внутри установки, позволит установить изоляцию с внутренней стороны автоклава. Такое расположение изоляции приведет к резкому сокращению расхода электроэнергии при разогреве рабочей камеры, а также исключит нагрев до рабочих температур стенок конструкции. Изоляционный материал (базальт) укладывается между стенками емкости и внутренней обшивкой, которая выполнена из листовой стали С20, толщиной 1-2 мм. Чтобы исключить воздействие нагрузок от избыточного давления на внутреннюю обшивку, в ней просверливаются сквозные отверстия диаметром 3 мм по всей поверхности в шахматном порядке с шагом 400 мм.

Нагревательные элементы устанавливаются по внутренней стороне емкости. Места вывода ТЭНов герметизируются. Для равномерного распределения тепла в камере устанавливается вентилятор, место ввода которого так же герметизируется силиконовым уплотнением с двумя парами графитовых уплотнительных колец.

Регулирование нарастания давления осуществляется с помощью сжатого воздуха. Для возможности управления давлением в камере пневмоклапан заменяется на задвижку с электроприводом, что, соответственно, способствует гибкости регулирования давления.

На рисунке 2 показана функциональная схема системы управления автоклавом при электрическом нагреве.

В данную схему автоклава входит: герметичный корпус 1; устройство подачи сжатого воздуха 2; система управления, состоящая из микроконтроллера 3, панели оператора 4, приборов ТЕРМОДАТ 5a и 5b, силовых твердотельных реле 6, датчика измерения температуры 7 и датчика измерения давления 8; теплоизолирующая оболочка 9, теплоэлектронагреватели 10, вентилятор 11, устройство сброса давления 12.

Теплоэлектронагреватели устанавливаются вдоль внутренней стороны герметичного корпуса между теплоизолирующей оболочкой и рабочим пространством автоклава. В торцевой части емкости устанавливается вентилятор, служащий для равномерного прогрева внутреннего объема сосуда.

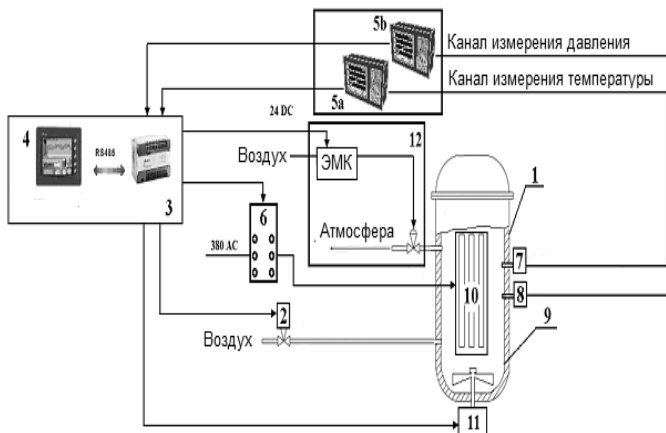


Рисунок 2. Функциональная схема системы управления автоклавом при электрическом нагреве

Теплоизолирующая оболочка устанавливается на внутренней стороне автоклава, что позволяет резко сократить расход электроэнергии при разогреве герметичного корпуса, так как ограничивает нагрев до рабочих температур его стенок [3].

Использование электронагревателей при осуществлении технологического процесса вулканизации обеспечит сокращение энергозатрат на термообработку деталей в 4,5 раза. При этом улучшит качество управления технологическим процессом производства

резины вследствие возможности независимого регулирования температуры и давления.

Система автоматизированного управления автоклавом позволит осуществить:

- экономию энергоресурсов за счет точного соблюдения алгоритмов технологического режима;
- обеспечение качества технологического процесса за счет точного поддержания температуры и давления внутри автоклава;
- увеличение ресурса автоклава за счет соблюдения более точного технологического режима работы;
- реализацию автоматических защит и блокировок для обеспечения безопасности работы установки;
- снижение трудоёмкости обслуживания.

Список литературы:

1. Википедия - свободная энциклопедия. (<http://ru.wikipedia.org/wiki>) (дата обращения 17.11.16)
2. Киргин Д.С. Алгоритмы управления технологическим процессом вулканизации установки автоклав / Вестник ИрГТУ, 2011, №8(55). С. 196-201.
3. Киргин Д.С., Дунаев М.П., Гоппе Г.Г., Иванов С.Д. Автоклав для вулканизации резиновых изделий //Патент на полезную модель №122590.
4. Пищевая промышленность, автоклавы. Альфа-Пром. [Текст]: Автоматизация вертикальных автоклавов. (<http://www.alfa-prom.ru>) (дата обращения 17.11.16)

1.4. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕФОРМЕРА УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Тимофеева Анна Стефановна

*канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
РФ, г. Старый Оскол*

Гончаров Александр Иванович

*магистрант НИТУ «МИСиС»,
РФ, г. Старый Оскол*

INCREASE IN OVERALL PERFORMANCE OF REFORMER OF INSTALLATION OF METALLIZATION

Anna Timofeeva

*candidate of Engineering Sciences, assistant professor
in MM of STI NITU "MISIS",
Russia, Stary Oskol*

Alexander Goncharov

*magistrant 2 course "STI NITU MISIS",
Russia, Stary Oskol*

Аннотация. В статье рассмотрены факторы повышения эффективности работы реформера. Одним из основных факторов является активность катализатора. Разработана методика расчета высоты слоя неактивного катализатора и исследовано влияние расхода и температуры питающего реформер газа на эффективность работы реформера.

Abstract. The article describes the factors of increase of efficiency of work of the reformer. One of the main factors is the activity of the catalyst. The method of calculating the height of the inactive catalyst bed and studied the effect of flow rate and temperature of the feed gas reformer on the efficiency of the reformer

Ключевые слова: реформер; катализатор; высота слоя; расход; газ; температура; эффективность.

Keywords: reformer; catalyst; layer height; consumption; gas; temperature; efficiency.

Использование восстановительного газа в металлургии нашло свое применение в производстве металлизированных окатышей. Для производства металлизированного продукта необходимо иметь восстановительный газ, который получается из реформированного. Для получения восстановительного газа для процесса Midrex используют реформер с углекислотной конверсией. В нем из смеси технологического и природного газа производится конвертированный газ, который служит в шахтной печи для восстановления оксидов железа. Процесс конверсии осуществляется в реакционных трубах, которые наполнены катализатором. Тепло на горелки реформера подаётся принудительно с помощью воздуходувок[1].

В реформере 288 реакционных труб диаметром 200 мм расположены в четыре ряда по 72 трубы в каждом. Большое признание в мире получило применение реакционных труб диаметром 250 мм, что сокращает общее количество труб при равной производительности реформера на 20 %. Каждый ряд труб имеет двенадцать секций по шесть труб [2].

Отопление реформера происходит с помощью горелок, которые находятся в днище. На нем установлены 120 главных горелок в пять рядов и 36 вспомогательных в три ряда. Главные горелки находятся симметрично между трубками и обеспечивают длинное узкое пламя для эффективного нагрева труб по длине.

Горение в печи реформера происходит с высокой эффективностью. Это возможно благодаря герметичной конструкции печи, которая не дает воздуху попасть внутрь, и точным регулированием топливного газа с воздухом, которое является близким к стехиометрическому [3].

В данной работе рассматривается повышение эффективности работы реформера. На основе анализа научной литературы выяснено, что работа реформера зависит от основных следующих факторов:

- расхода питающего реформер газа
- температуры питающего газа и температуры в реформере.
- химического состава газа
- физико-химических свойствах материала, из которого изготовлены реакционные трубы

- содержания углекислоты и пара
- активности катализатора.

Одним из основных факторов является активность катализатора, которая может уменьшаться за счет отложения углерода и серы в порах катализатора, что ведет к остановке реформера для перезагрузки катализатора. Анализ литературных источников и производственных условий работы реформера дает возможность выявить факторы, позволяющие снизить эффект осаждения углерода:

- правильная схема загрузки катализаторов по типу и высоте реакционной трубы реформера;
- применение высокоактивных катализаторов в случае использования для конверсии природного газа с высоким содержанием метана;
- тщательный контроль и регулирование содержания серы в питающем газе (в пределах 2-5 ppmv);
- контроль и регулирование содержания CO₂ в колошниковом газе в пределах 18-21 %;
- подача пара или очищенной воды в питающий газ при использовании природного газа, содержащего >7 % тяжелых углеводородов;
- применение высокоэффективной газоочистки рециркулирующего технологического газа для доведения до минимума концентрации пыли в питающем газе реформера.
- постоянный контроль в ходе эксплуатации температуры стенок реакционных труб, изменения активности катализатора, степени приближения к равновесию реакции конверсии;
- отключение подачи природного газа на период остановки реформера [4].

На кафедре металлургии и металловедения для исследования эффективности работы реформера была разработана методика расчета температуры по высоте реакционной трубы для того, чтобы можно было правильно определить высоту неактивного катализатора. Активный катализатор должен находиться на высоте, где температура должна быть не менее 700°C для невозможности отложения углерода в порах по реакции Будуара. Ниже представлена блок-схема определения высоты неактивного катализатора в реакционных трубах (рис.1).

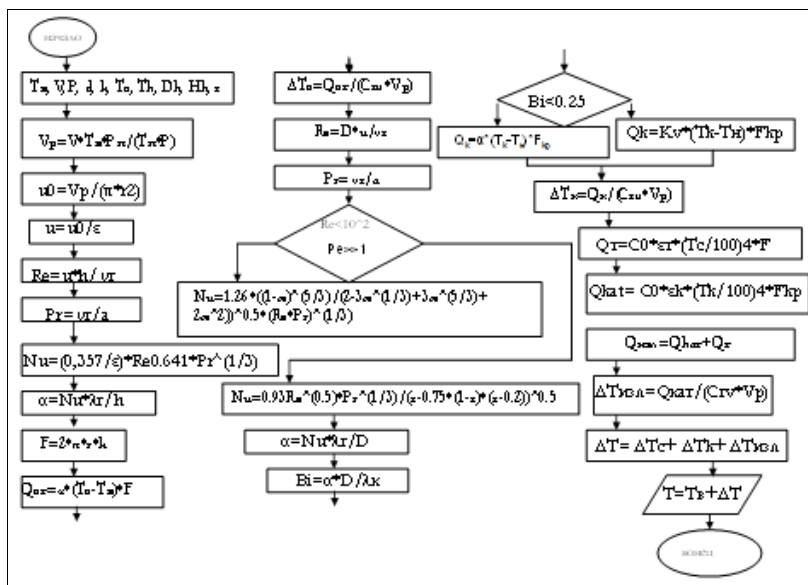


Рисунок 1. Блок-схема расчета распределения температуры по высоте слоя неактивного катализатора

Расчет был реализован в программе X-L. Результаты расчета высоты неактивного катализатора от расхода питающего реформер газа и его температуры представлены на рисунке 2.

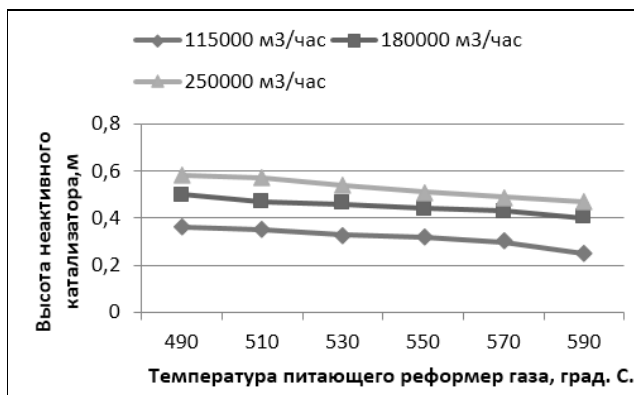


Рисунок 2. Зависимость температуры и расхода газа на высоту неактивного катализатора

Из данного рисунка видно, как расход газа и температура на входе в питающий газа влияет на высоту неактивного катализатора. Чем ниже температура питающего газа на входе в трубу, тем больше высота неактивного катализатора и чем больше объем газа, тем высота слоя неактивного катализатора становится больше.

Если высота слоя неактивного катализатора уменьшается, то значит на столько же увеличивается высота слоя активного катализатора, а это ведет к увеличению полноты разложения метана, т.е. увеличению производительности реформера.

Список литературы:

1. Сравнительный анализ процессов твердофазного восстановления железа. Цымайд.В.,КуценкоС.А./<https://sites.google.com/site/himiaitehnologia/Home/stat11>-(дата обращения 01.11.2016).
2. Тимофеева А. С., Никитченко Т. В., Тимофеев Е. С. Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья: учебное пособие/ А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко, Е.С. Тимофеев.- Старый Оскол: ТНТ,2011.-304с.
3. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В. Физико-химические процессы реформинга газа: учебное пособие/ А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко.- Старый Оскол :СТИ НИТУ»МИСиС», 2016.-140с.
4. Юсфин, Ю.С. Металлургия железа [Текст]/ Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков.- М.:ИКЦ» Академкнига», 2007.-464с.

1.5. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИМЕНЕНИЕ МЭМС-АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТЫ УГЛА В СОСТАВЕ ТРУБНЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ НАРУЖНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Стрельников Игорь Витальевич

*аспирант, Поволжский государственный технологический университет,
РФ, Йошкар-Ола*

Юдин Сергей Валерьевич

*начальник бюро электроники ООО фирма «Инструмент-Н»,
РФ, Йошкар-Ола*

Рябов Игорь Владимирович

*д-р техн. наук,
Поволжский государственный технологический университет,
РФ, Йошкар-Ола*

MEMS-ACCELEROMETER APPLICATION FOR ANGLE COORDINATE MEASURING IN EXTERNAL NONDESTRUCTIVE CONTROL FLAW PIPE DETECTOR FOR DIAGNOSTICS OF HORIZONTAL PIPES

Igor Strelnikov

*graduate Student, Volga State University of Technology,
Russia, Yoshkar-Ola*

Sergei Yudin

*head Office Electronics Ltd "tool-N",
Russia, Yoshkar-Ola*

Igor Ryabov*doctor of Technical Sciences, Volga State University of Technology,
Russia, Yoshkar-Ola*

Аннотация. В статье рассматривается применение МЭМС-акселерометра для измерения координаты угла в составе трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля при диагностике горизонтальных труб. Цель – обеспечение бесконтактного способа измерения координат, исключающего износ устройства измерения координат. Представлена математическая модель измерения угла, описана структурная схема трубного дефектоскопа с устройством бесконтактного измерения координат, приведены результаты его работы в виде дефектограммы сканирования участка образцовой трубы.

Abstract. The article presents MEMS application for coordinate measurement in external nondestructive control flaw pipe detector. Main purposes are to provide a method of contactless coordinate measuring and to increase precision and reliability of coordinate measuring device. There are presented mathematical model of angle measurement, structural scheme of external nondestructive control flaw pipe detector with contactless measuring device. As result defectogram of exemplary pipe scanning with external nondestructive control flaw pipe detector with contactless measuring device is presented.

Ключевые слова: неразрушающий контроль; дефектоскопия; интроскопия.

Keywords: introscopy; nondestructive control; flaw detection.

Трубопроводный транспорт всегда играл немаловажную роль в экономике и промышленности государства. Наиболее эффективно трубопроводы используются при транспортировке нефти, газа и нефтепродуктов в больших объемах на большие расстояния. Во избежание экологических катастроф и чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с выходом из строя трубопроводной системы и разливом транспортируемого продукта, необходима своевременная и периодичная диагностика трубопроводов. Известно множество способов и устройств дефектоскопии, в частности «Дефектоскоп наружного неразрушающего контроля»[1], «Комплекс дефектоскопии технологических трубопроводов»[2]. Однако измерение координат для локализации дефектов трубопроводов в данных устройствах осуществляется с помощью

одометров, что предполагает контактный метод измерения координат. А это сопряжено с частым износом механизма отсчета перемещения вследствие истирания, что приводит к уменьшению срока работы устройства, возможным ошибкам в показаниях вследствие неровности поверхности, проскальзывания. Также известен способ бесконтактного измерения координат [3], однако он предназначен для внутритрубных снарядов дефектоскопов.

Целью данной работы является повышение точности и увеличение ресурса работы трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля, уменьшение габаритных размеров, снижение себестоимости за счет применения узла бесконтактного измерения координаты угла.

Как правило, при транспортировке нефти, газа и нефтепродуктов трубопровод большей своей частью представляет собой участки с горизонтально расположенным телом трубы, либо участки с телом трубы, расположенным под наклоном. Для локализации дефектов несплошности материала диагностируемого трубопровода обычно используется координата по направляющей вдоль тела трубы относительно некой реперной точки по ходу транспортировки продукта, а также координата по углу относительно горизонта, где 0 градусам соответствует верхняя образующая тела трубы, 180 градусам нижняя образующая тела трубы, что изображено на рисунке 1.

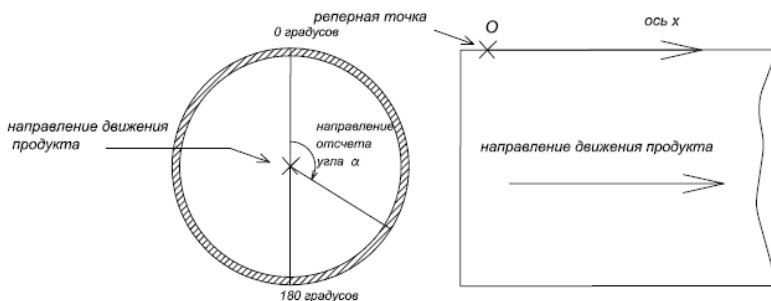


Рисунок 1. Отсчет координат при локализации дефектов в диагностике трубопроводов

В этом случае для осуществления технической диагностики невертикальных труб предложено использовать трубный дефектоскоп наружного неразрушающего контроля, структурная схема которого изображена на рис. 2

Трубный дефектоскоп наружного неразрушающего контроля представляет собой систему сбора информации с датчиков детектирования дефектов, а также измерения координат с помощью бесконтактного устройства на базе МЭМС-акселерометра. Дефектоскоп состоит из модуля сбора и обработки информации, опрашивающего массив датчиков детектирования и измерения дефектов, а также модуль бесконтактного измерения координаты угла, модуля отображения и индикации для обеспечения визуального интерфейса с пользователем, модуля связи с внешними устройствами для вывода информации на персональный компьютер, планшет и другие внешние устройства, модуля сохранения результатов измерения в энергонезависимую память.

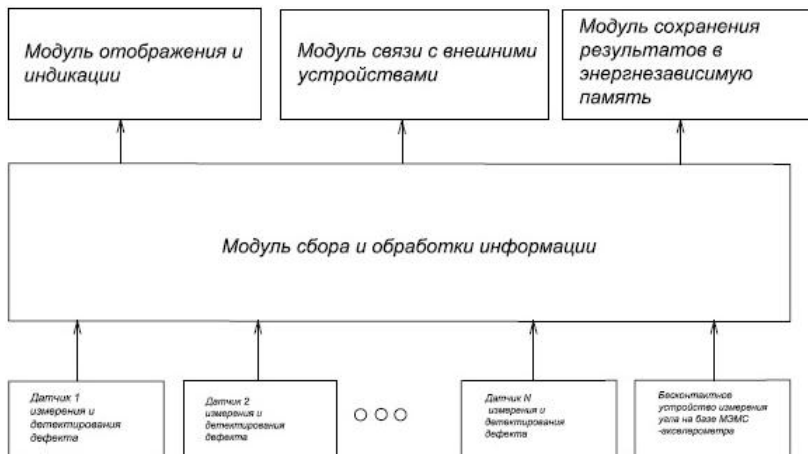


Рисунок 2. Структурная схема трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля для диагностики неvertикальных труб

Схема работы трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля на участке трубы представлена на рисунке 3. Здесь показан трубный дефектоскоп наружного неразрушающего контроля с бесконтактным устройством измерения координаты угла в процессе работы на трубе в разрезе. Датчик 1 - датчик N – датчики измерения и детектирования дефектов несплошности материала тела трубы. В качестве примера дефектов несплошности тела трубы на рисунке 3 изображены дефект 1, дефект 2 и дефект i тела трубы. Датчики расположены на одной оси и в одной плоскости и жестко связаны с конструкцией дефектоскопа. Бесконтактный узел измерения

координаты угла представляет собой МЭМС-акселерометр, который зафиксирован неподвижно к телу дефектоскопа, причем плоскость, содержащая оси $accel_z$ и $accel_y$ акселерометра, перпендикулярна плоскости датчиков, измеряющих и детектирующих дефекты. Ось X параллельна оси трубы и направлена по ходу движения продукта, угол α - угол между вектором ускорения свободного падения и осью $accel_z$ МЭМС-акселерометра. Угол α лежит в плоскости осей $accel_y$ и $accel_z$ и характеризует угловое положение оси датчиков детектирования и измерения дефектов на теле трубы, а следовательно, и угловое положение дефектов, детектируемых и измеряемых этими датчиками. Координата X дефекта равна координате соответствующего датчику датчика, которая и определяется выражением (1)

$$X_{\text{деф } i} = X_{\text{дат } i} = X_O + X_{O \text{ дат } i}, \quad (1)$$

где $X_{\text{деф } i}$ – координата X дефекта i , $X_{\text{дат } i}$ – координата X датчика i , детектирующего дефект, X_O – координата X реперной точки, известна заранее, $X_{O \text{ дат } i}$ – координата датчика i , детектирующего дефект, относительно реперной точки.

Координата $X_{O \text{ дат } i}$ датчика i определяется выражением (2)

$$X_{O \text{ дат } i} = a + b + (i - 1) * d, \quad (2)$$

где a – расстояние от реперной точки O до базы дефектоскопа, измеряется опытным путем, b – расстояние от базы дефектоскопа до первого датчика, является величиной постоянной, i – номер датчика, d – шаг между датчиками.

Для исследования работы устройства бесконтактного измерения координаты угла был собран стенд, схема которого представлена на рисунке 4. Здесь 1 – тело трубы, 2 – корпус дефектоскопа наружного неразрушающего контроля, 3 – бесконтактное устройство измерения координаты угла на базе МЭМС-акселерометра MPU6050. Труба находится на горизонтальной поверхности. В ходе исследования осуществлялся наклон дефектоскопа с бесконтактным устройством измерения координаты угла на известный угол, отмеряемый по поверенному угломеру, а затем измерялось значение угла α с помощью МЭМС-акселерометра по проекциям ускорения свободного падения гна оси $accel_z$ и $accel_y$ согласно выражениям (3) и (4)

$$\alpha_z = \arccos\left(\frac{gz}{g}\right) \quad (3)$$

$$\alpha_y = \arcsin\left(\frac{gy}{g}\right) \quad (4)$$

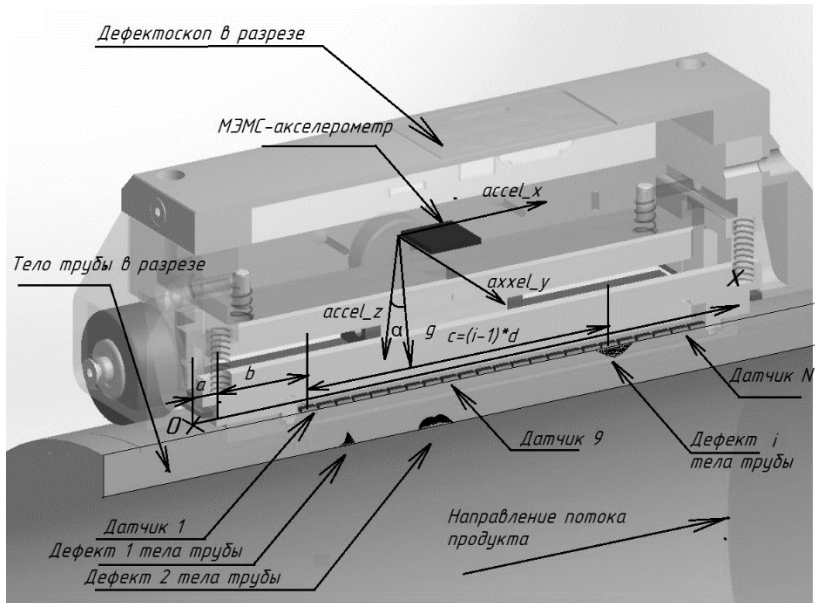


Рисунок 3. Схема работы трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля на участке трубы

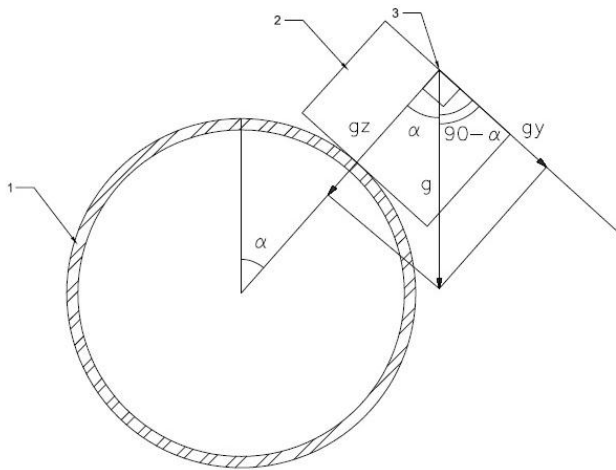


Рисунок 4. Схема стенда для испытания устройства бесконтактного измерения координаты угла

На рисунке 5 представлен график зависимости ошибки измерения от реального угла наклона α при его расчете по формуле (3) и изменении угла от 0^0 до $+180^0$, а на рисунке 6 представлен график зависимости ошибки измерения от реального угла наклона α при его расчете по формуле (4) и изменении угла от -90^0 до 180^0 .

График на рисунке 5 отражает появление ошибки при измерении угла по формуле (3) в окрестности значений $\alpha_{z0} = 0^0$ и $\alpha_{z1} = 180^0$, что свидетельствует о наличии зон нечувствительности проекции ускорения свободного падения g на ось $accel_z$ акселерометра MPU6050 к изменению угла.

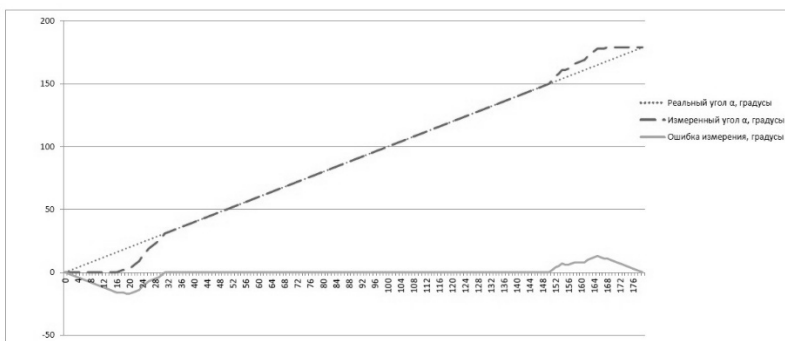


Рисунок 5. Зависимость ошибки измерения координаты угла от значения реального угла при расчете угла по формуле (3)

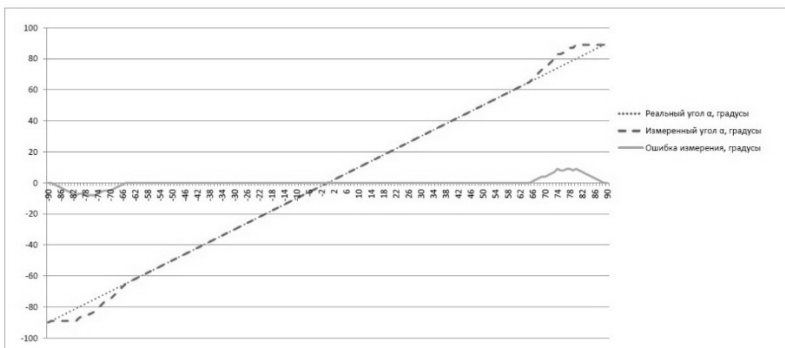


Рисунок 6. Зависимость ошибки измерения координаты угла от значения реального угла при расчете угла по формуле (4)

График на рисунке 6 отражает появление ошибки при измерении угла по формуле (4) в окрестности значений $\alpha_{y0} = -90^0$ и $\alpha_{y1} = 90^0$, что свидетельствует о наличии зон нечувствительности проекции ускорения свободного падения на ось accel_y акселерометра MPU6050 к изменению угла.

Для исключения влияния зон нечувствительности проекций на оси accel_y и accel_z к изменению угла на процесс измерения координаты угла была составлена общая математическая модель (5).

$$\alpha_n = \begin{cases} \alpha_{ny} * k + (1 - k) * \alpha_{nz}, k = \frac{90 - \alpha_{n-1}}{90}, \\ \text{если } 0 \leq \alpha_{ny} < 90, 0 \leq \alpha_{nz} < 90 \\ (180 - \alpha_{ny}) * k + (1 - k) * \alpha_{nz}, k = \frac{\alpha_{n-1} - 90}{90}, \\ \text{если } 0 \leq \alpha_{ny} < 90, 90 \leq \alpha_{nz} < 180 \\ -\alpha_{ny} * k + (180 - \alpha_{nz}) * (1 - k), k = \frac{270 - \alpha_{n-1}}{90}, \\ \text{если } -90 \leq \alpha_{ny} < 0, 90 \leq \alpha_{nz} < 180 \\ (90 + \alpha_{ny}) * k + (90 - \alpha_{nz}) * (1 - k), k = \frac{\alpha_{n-1} - 270}{90}, \\ \text{если } -90 \leq \alpha_{ny} < 0, 0 \leq \alpha_{nz} < 180 \end{cases}, \quad (5)$$

где α_n - значение координаты угла в градусах, вычисляемое на n итерации, α_{n-1} - значение координаты угла в градусах, вычисляемое на $n-1$ итерации, α_{ny} - значение угла α в градусах, измеряемое на итерации по формуле (4), α_{nz} - значение угла α в градусах, измеряемое на итерации по формуле (3).

Предложенная математическая модель измерения угла была исследована на стенде. Результаты исследований представлены в виде графика зависимости ошибки измерения угла от его реального значения угла на рисунке 6. Как видно из графика, применение предложенной математической модели исключает значительные ошибки измерения угла.

Проведены исследования работы трубного дефектоскопа наружного неразрушающего контроля с бесконтактным устройством измерения координаты угла на участке трубы с известными дефектами, расчет координаты угла при этом проводился согласно математической модели (5). Расхождения между координат, определенных исследуемым дефектоскопом, и реальными координатами дефектов на известном участке трубы не превышают допустимой погрешности в 5%. Дефектограмма, полученная исследуемым трубным дефектоскопом наружного неразрушающего

контроля с бесконтактным устройством измерения координаты угла, представлена на рисунке 7.

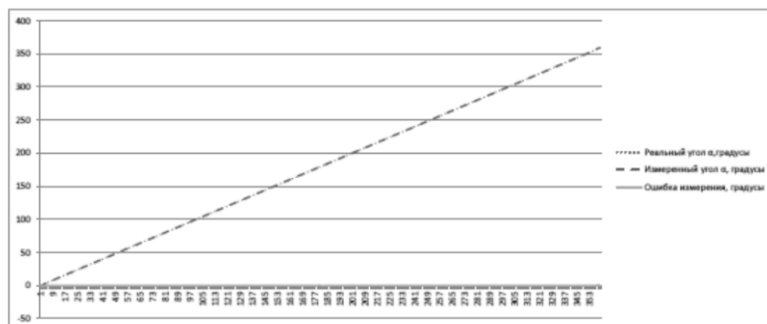


Рисунок 7. Зависимость ошибки измерения координаты угла от значения реального угла при расчете угла по формуле (5)

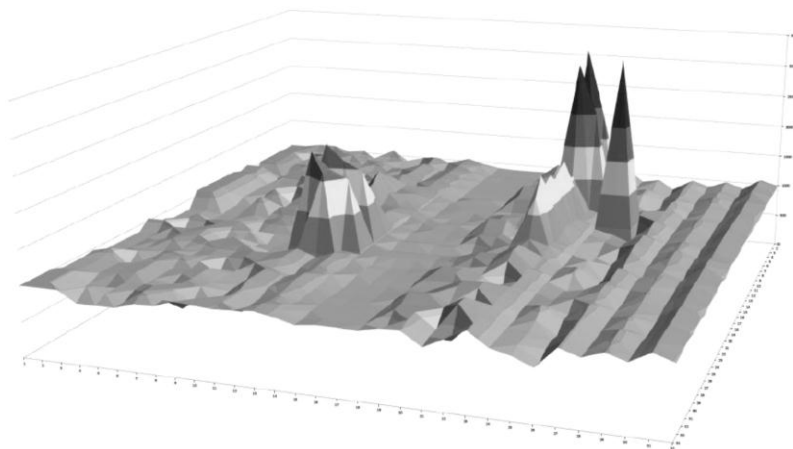


Рисунок 8. Дефектограмма, полученная трубным дефектоскопом наружного неразрушающего контроля с бесконтактным устройством измерения угла

Список литературы:

1. Пат. 2563601 Российская федерация, МПК G 01 N 27/82 (2006.01). Дефектоскоп наружного неразрушающего контроля/Сибгатуллин Фаиль Шарифуллович (RU); заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Антенор» (RU). № 2014105045/28; заявл. 11.02.2014; опубл. 20.09.2015, Бюл. №26 (II ч.). 2с
2. Пат. 2516364 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/04 (2006.01), G 01 N 27/83, G 01 N 27/90 Комплекс дефектоскопии технологических трубопроводов / Филатов А.А. (RU), Бакурский Н.Н. (RU), Соловых И.А. (RU), Бакурский А.Н. (RU), Петров В.В. (RU); заявители и патентообладатели Открытое Акционерное Общество (ОАО) «Оргэнергогаз» (RU) № 2012157732/28; заявл. 28.12.2012; опубл. 20.05.2015 Бюл. №14
3. Пат. 2275598 Российская Федерация, МПК G 01 C 3/08 (2006.01), G 01 № 21/954 (2006.01), G 01 S 17/66 (2006.01). Одометр для внутритрубного прибора-дефектоскопа / Синев Андрей Иванович (RU), Чеботаревский Юрий Викторович (RU), Захаров Юрий Анатольевич (RU); заявители и патентообладатели Закрытое акционерное общество «Газприборавтоматикасервис» (RU), Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет (СГТУ) (RU) №2004123692/28; заявл. 02.08.2004; опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12 (I ч.). 9 с.

1.6. ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Васильев Сергей Иванович

*канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА,
РФ, г. Самара*

ANALYSIS OF MODERN ELECTROTECHNICAL METHODS OF MEASUREMENT OF HUMIDITY OF THE SOIL

Sergey Vasilyev

*cand. Tech. Sci., the associate professor,
FGBOU WAUGH the Samara GSHA,
Russia, Samara*

Аннотация. Приводится обзор и анализ современных методов измерения влажности, почвы, а также других сыпучих материалов. Представлен краткий анализ устройств для осуществления данных методов. Рассмотрены методы, как контактного, так и бесконтактного измерения влажности.

Abstract. The review and the analysis of modern methods of measurement of humidity, the soil, and also other bulks is provided. The short analysis of devices for implementation of these methods is submitted. Methods, both contact, and contactless measurement of humidity are considered.

Ключевые слова: влажность; почва; влагомер; измерение.
Keywords: humidity; soil; hydrometer; measurement.

При использовании технологии координатного земледелия в современном сельском хозяйстве, необходим большой объем данных характеризующих физико-механическое и агрофизическое состояние

почвы. В частности необходим постоянный контроль влажности почвы [1].

Для автоматического контроля влажности кусковых материалов используются следующие контактные и бесконтактные методы:

- кондуктометрические;
- диэлькометрические;
- ЯМР-влажмеры (ядерного магнитного резонанса);
- СВЧ-влажмеры (сверх высоко частотные);
- оптические ИК (инфракрасного излучения).

В связи с повышенными требованиями к условиям безопасности эксплуатации, ЯМР-влажмеры могут быть использованы не везде. Кондуктометрические и диэлькометрические увлажмеры являются контактными измерительными устройствами, требующими непрерывного касания поверхности материала, поэтому для автоматического контроля сыпучих, кусковых материалов не приемлемы [2].

Сверхвысокочастотные (СВЧ) увлажмеры используют значительное (в десятки раз) различие электрических свойств воды и сухого материала. Концентрацию влаги измеряют по ослаблению СВЧ-излучения, проходящего через слой анализируемого материала. В таких увлажмерах лента материала проходит между передающей и приемной антеннами. Передающая антенна соединена с СВЧ-генератором, приемная - с измерительным устройством. Чем больше влажность анализируемого материала, тем меньше сигнал, попадающий в измерительное устройство. СВЧ-увлажмеры позволяют измерять влажность в широком диапазоне (0...100 %) с высокой точностью.

На современном рынке СВЧ-увлажмеры представлены следующими моделями [3]:

- поточный увлажмер MICRORADAR;
- поточный увлажмер M-Sens 2;
- увлажмер MOISTSCAN MA500.

Одна из модификаций поточного СВЧ-увлажмера - МИКРОРАДАР-113 К-1 предназначена для бесконтактного измерения влажности торфа, почвы, глиняного бруса, глиняной шихты, сухого и гранулированного жома, а также других сыпучих и пластичных материалов на конвейере и в бункере.

Принцип действия увлажмеров основан на измерении величины поглощения СВЧ-энергии влажным материалом и преобразовании этой величины в цифровой код, соответствующий влажности материала [4].

Сигнал сенсоров поступает в микропроцессорный блок управления и контроля, в котором происходит вычисление влажности.

Величина влажности показывается на индикаторном табло микропроцессорного блока в интервале от 4 до 20 мА и напряжением от 0 до 2,5 В. По каналу RS-485 информация о влажности, температуре может передаваться в компьютер. В комплект поставки прибора входит программа накопления и отображения влажности в реальном масштабе времени, что позволяет записывать на компьютер, наблюдать, хранить и отображать информацию о влажности за любой период времени.

Принцип действия влагомера M-Sens 2 основан на измерении напряженности высокочастотного поля и прямой цифровой обработке сигнала, обеспечивающей высокую степень разрешения. Так как поверхностная и капиллярная влажность материала сильно влияют на его проводимость, влажность может быть точно измерена через усредненную объемную плотность. Калибровка производится оператором путем нажатия кнопки и ввода известного «опорного» значения влажности [4].

Колебания измеряемого значения, вызванные изменением объемной плотности материала, устраняются путем специальной фильтрации сигнала. Также в сенсоре предусмотрена автоматическая компенсация влияния температуры.

Принцип действия микроволнового влагомера MOISTSCAN MA-500 основан на детектировании комбинации фазового сдвига и ослабления сигнала микроволн, проходящих через материал и конвейерную ленту. Микроволны проникают через ленту конвейера и материал, таким образом устраняется эффект от воздействия вертикальной сегрегации. Качество измерения не зависит от размера образцов материала и скорости движения конвейерной ленты. Влагомер автоматически компенсирует влияние изменения скорости подачи продукта, используя стоящий рядом измеритель веса ленты, либо интегральный монитор толщины слоя материала [4].

Его технические и метрологические характеристики:

- влагомер устанавливается на конвейер любой ширины;
- скорость движения исследуемого материала по конвейеру не ограничена;
- толщина слоя исследуемого материала может колебаться от 20 до 500 мм; измеряемый диапазон содержания влаги составляет от 0 до 90%;
- основная погрешность составляет от 0,1 до 0,5%.

Влагомеры инфракрасного излучения.

Принцип действия основан на поглощении или отражении энергии инфракрасных (ИК) волн влагосодержащим материалом. В

инфракрасных влагомерах используют уравнивающий метод измерения, выбирая в спектре ИК-излучения две области с различной зависимостью свойств ИК-излучения от влажности.

Влагомер Spectra-Quad работает также на принципе поглощения инфракрасного участка спектра. Интенсивность поглощения излучения определенной длины волны пропорциональна содержанию влаги в материале [3, 4].

Кварцево-галогенный источник испускает свет в определенном диапазоне длин волн. Свет от источника проходит через вращающиеся фильтры. Оптические ИК фильтры разделяют световой поток на измерительные и опорные лучи, которые, соответственно, поглощаются или не поглощаются анализируемой пробой. Отраженная энергия лучей преобразуется в электрические сигналы, соотношение уровня которых пропорционально величине контролируемого параметра [2].

Дополнительные оптические каналы (внутренние лучи) компенсируют любую нестабильность оптических и электронных компонентов.

Проанализировав метрологические характеристики отечественных и зарубежных влагомеров твердых материалов можно заключить, что наиболее эффективным бесконтактным методом измерения влажности почвы является СВЧ-метод. Измерения по данному методу являются наиболее точными. Время измерения при этом минимально.

Список литературы:

1. Васильев С.И., Машков С.В., Фатхутдинов М.Р. Измерение влажности почвы в СВЧ диапазоне электромагнитных волн /Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сборник научных трудов. – Самара: РИЦ СГСХА, 2015. С. 57-63.
2. Васильев С.И. Комбинированное устройство для комплексного измерения твердости и влажности почвы / Вклад молодых ученых в аграрную науку самарской области: сборник научных трудов. – Самара: РИЦ СГСХА, 2011. С.96-99.
3. Васильев С.И., Юдаев И.В. Электротехника и электроника. – Кинель, 2016. – 133 с.
4. Нугманов С.С., Васильев С.И., Сазонов М.В. ТЗ: Обнадеживающие перспективы // Сельский механизатор – М.: 2007. № 3. С. 22.

1.7. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПО ЧАСТОТЕ ПОМЕХИ

Чернова Инна Борисовна

*аспирант, Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта,
РФ, г. Калининград*

ADAPTIVE FILTERING OF COMPLEX SIGNALS ON A BACKGROUND FOCUSED FREQUENCY INTERFERENCE

Inna Chernova

*Graduate student, Immanuel Kant Baltic Federal University,
Russia, Kaliningrad*

Аннотация. В статье представлен метод фильтрации сигналов, основанный на применении теории оптимального приема, позволяющий отфильтровывать как ортогональную, так и неортогональную часть помехи.

Abstract. The article presents the signal filtering method based on the application of the theory of optimal reception, enabling filtering both orthogonal and non-orthogonal part interference.

Ключевые слова: оптимальный прием; фильтрация; сложный сигнал; метод максимального правдоподобия.

Keywords: optimal reception; filtering; composite signal; the method of maximum likelihood.

Существующие в настоящее время фильтры исключают только ортогональную к сигналу составляющую помехи. Метод максимального правдоподобия позволяет реализовать фильтры нового типа,

способные решать задачу фильтрации как в области ортогональности помехи и сигнала, так и в области их неортогональности.

Рассмотрим более подробно технологию фильтрации сложного сигнала на фоне сосредоточенной по частоте помехи фильтром максимального правдоподобия. Пусть принятое сообщение имеет следующий вид:

$$\hat{y}(t) = \hat{U}_c e^{i\omega_c(t-t_0)} \mu(t-t_0) + \hat{U}_n e^{i\omega_n t} + \hat{U}_u(t),$$

где \hat{U}_c , \hat{U}_n – комплексные амплитуды сигнала и помехи, $\mu(t-t_0)$ – модулирующая функция, t_0 – время приема сигнала, ω_c , ω_n – круговые частоты сигнала и помехи, $\hat{U}_u(t)$ – аддитивный шум с нормальным законом распределения, дисперсией σ^2 , средним значением равным нулю и интервалом корреляции τ_k .

Оптимальный алгоритм обработки при решении задачи оценки параметров сигнала определяется уравнениями правдоподобия [1,3]. Логарифм функции правдоподобия при малом интервале корреляции τ_k будет определяться выражением:

$$\ln(L(\hat{U}'_c, \hat{U}'_n, \omega'_c, t'_0)) = -\frac{1}{2\sigma^2 \tau_k} \int_{t_i}^{t_i+T} \left| \hat{y}(t) - \hat{U}'_c e^{i\omega'_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) - \hat{U}'_n e^{i\omega'_n t} \right|^2 dt, \quad (1)$$

где t_i – время начала обработки.

Дифференцируя выражение (1) по амплитудам \hat{U}'_c , \hat{U}'_n и приравнявая дифференциалы к нулю, получим систему уравнений, решая которую найдем значения \hat{U}'_c и \hat{U}'_n :

$$\hat{U}'_c = \frac{1}{T} \frac{\int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega'_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) dt - \hat{R} \int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega'_n t} dt}{1 - |\hat{R}|^2} \quad (2)$$

$$\hat{U}'_n = \frac{1}{T} \frac{\int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega'_n t} dt - \hat{R}^* \int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) dt}{1 - |\hat{R}|^2},$$

где \hat{R} – коэффициент корреляции:

$$\hat{R} = \frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} e^{i\omega'_n t} e^{-i\omega_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) dt \quad (3)$$

Таким образом можно оценить параметры помехи и скомпенсировать ее. Так для момента времени t_i значение сигнала на выходе фильтра будет определяться выражением:

$$\hat{x}(t_i) = \hat{y}(t_i) - \frac{e^{i\omega'_n t_i}}{T} \frac{\int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega'_n t} dt - \hat{R}^* \int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}(t) e^{-i\omega_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) dt}{1 - |\hat{R}|^2} \quad (4)$$

Однако в условиях априорной неопределенности указанных параметров необходимо получить их оценки. Для этого используется функционал правдоподобия, определяемый следующим выражением:

$$\Delta(t'_0, \omega'_n, t_i) = \int_{t_i}^{t_i+T} |\hat{y}(t)|^2 dt - \hat{U}'_c \int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}^*(t) e^{i\omega'_c(t-t'_0)} \mu(t-t'_0) dt - \hat{U}'_c \int_{t_i}^{t_i+T} \hat{y}^*(t) e^{i\omega'_n t} dt \quad (5)$$

Оценки времени приема сигнала и частоты помехи осуществляются путем нахождения значений t'_0 и ω'_n , минимизирующих функционал (5).

Блок фильтрации работает согласно уравнению (4) и производит компенсацию помехи при параметрах, определяемых адаптивной частью фильтра, что отличает его от классического Винерского адаптивного фильтра.

Представленный алгоритм адаптивной фильтрации был проверен с помощью модельных исследований, проведенных в среде MATLAB.

Ниже приведен результат фильтрации сложного сигнала на основе 16-ти позиционной M-последовательности на фоне сосредоточенной по частоте помехи фильтром максимального правдоподобия.

Параметры сигнала: $U_c = 2 В$, $\phi_c = 30^\circ$, $f_c = 456 кГц$, длительность сложного сигнала $T = 480 мкс$, параметры помехи: $U_n = 6 В$, $\phi_n = 70^\circ$, $f_n = 456 кГц$. Принятое сообщение представлено на рисунке 1.

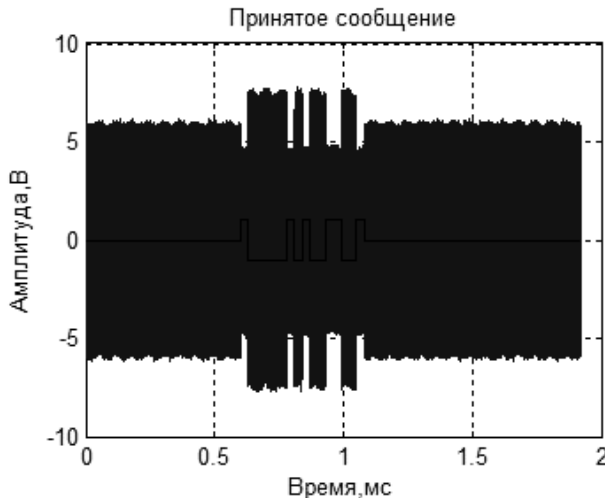


Рисунок 1. Принятое сообщение

В результате применения фильтра максимального правдоподобия получаем сигнал, очищенный от помехи (рисунок 2).

Параметры восстановленного сигнала: $U_c = 2,001 В$, $\phi_c = 0,5236$ рад, $t_0 = 0,6 мс$ ($U_n = 6,001 В$, $\phi_n = 1,2216$ рад). Таким образом, адаптивная фильтрация с оценкой параметров по методу максимального правдоподобия позволяет полностью избавиться от помехи.

Граничные возможности предложенного метода представлены на рисунке 3.

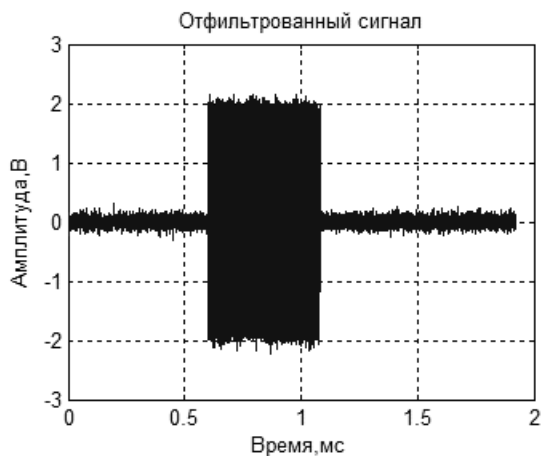


Рисунок 2. Восстановленное сообщение

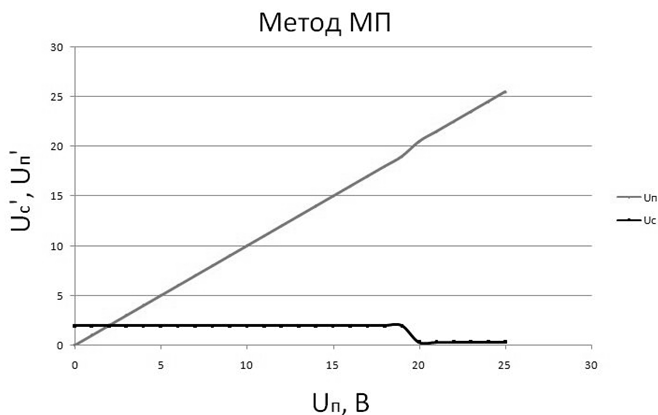


Рисунок 3. Граничные возможности метода максимального правдоподобия

Результаты проведенных модельных исследований подтверждают основные положения теории.

Разработанная технология фильтрации позволяет исключить как ортогональную составляющую помехи, так и неортогональную. Диапазон изменения коэффициента взаимной корреляции между сигналом и помехой может изменяться в пределах от 0 до 0,9.

Список литературы:

1. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем/ А.И. Перов. – Москва: Радиотехника, 2003. – 400 с.
2. Строков В.И. Пахотин В.А., Бессонов В.А. Особенности получения сверхразрешения сложных сигналов с помощью теории максимального правдоподобия. Сборник докладов XXI международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», т.1, с. 230-241, 2015.
3. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов/ В.И. Тихонов. – Москва: Радио и связь, 1980. – 320 с.

1.8. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Хазов Павел Алексеевич

*старший преподаватель, Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет – ННГАСУ,
РФ, г. Нижний Новгород*

Рыжевская Яна Александровна

*студент, Нижегородский государственный архитектурно-
строительный университет – ННГАСУ,
РФ, г. Нижний Новгород*

Маматулина Мария Викторовна

*студент, Нижегородский государственный архитектурно-
строительный университет – ННГАСУ,
РФ, г. Нижний Новгород*

THE USE OF COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD) IN THE CONSTRUCTION OF UNIQUE BUILDINGS

Pavel Khazov

*senior lecturer, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil
Engineering NNGASU,
Russia, Nizhny Novgorod*

Yana Ryzhevskaya

*student, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil
Engineering NNGASU,
Russia, Nizhny Novgorod*

Maria Mamatulina

*student of the faculty of Civil Engineering, Nizhny Novgorod State
University of Architecture and Civil Engineering NNGASU,
Russia, Nizhny Novgorod*

Аннотация. В статье определено значение систем автоматизированного проектирования для расчета и конструирования уникальных зданий и сооружений и выявлены основные проблемы применения систем автоматизации.

Abstract. The article defines the value of CAD systems for calculation and design of unique buildings and the main problems of application of automation systems.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования; строительство; уникальные здания; проектирование.

Keywords: automated design systems; building; unique buildings; design.

ВВЕДЕНИЕ. Моделирование уникальных зданий и сооружений, в современных условиях развития компьютерных технологий, выполняется с помощью автоматизированных систем проектирования. Использование систем автоматизированного проектирования существенным образом отражается на качестве и скорости принятия решений инженерами и дает возможность эффективно управлять процессом строительства уникальных зданий на всех этапах.

На сегодняшний день, для развития строительной отрасли в РФ, актуальным является проведения анализа применения систем автоматизированного проектирования уникальных сооружений, начиная с этапа расчёта и конструирования этих зданий.

ЦЕЛЬЮ статьи является изучение использования систем автоматизированного проектирования в строительстве уникальных зданий и определения основных проблем, которые могут возникнуть в процессе их использования.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ. Современное проектирование зданий и сооружений вышло на совершенно новый уровень, теперь для строительства уникального сооружения недостаточно просто проекта будущего объекта.

К уникальным зданиям и сооружениям относятся объекты капитального строительства, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик: высота более 100 м, пролеты более 100 м, наличие консоли более 20 м,

заглубление подземной части ниже планировочной отметки более чем на 15 м, с пролетом более 50 м или со строительным объемом более 100 тыс. м³ и с одновременным пребыванием более 500 человек.

Современный проект уникального здания должен включать в себя информационную нагрузку, точнее полную информационную модель, которая будет содержать все параметры о свойствах объекта. Проект уникального здания должен быть его точной виртуальной копией, с учетом точных размеров и всех технологических характеристик. Такой вид проектирования представляет собой комплексную модель и если изменить какой-либо параметр в этой модели, его изменение повлечет за собой изменение остальных параметров.

В России, такие комплексные модели довольно успешно применяются в строительстве уникальных зданий и сооружений, и называются системами автоматизированного проектирования (далее - САПР) [1].

Система автоматизированного проектирования представляет собой деятельность по созданию программных продуктов и комплексов технических средств автоматизации проектных работ.

САПР используют для оптимизации процесса проектирования зданий и сооружений, за счет снижения времени и себестоимости проектирования, сокращения трудоемкости инженеров, сокращения затрат на получение информации, возможности оперативно принимать решения и других факторов [2].

Применение систем автоматизации предполагает интеграцию всех инженерных систем объекта строительства, наличие автоматизированной системы управления и развитой системы коммуникаций.

Тенденции развития САПР набирают все больший оборот, а их разработчики обновляют свои продукты практически каждый год. В связи с этим, в процессе использования САПР, перед специалистами, работающими с этими системами, возникает проблема – недостаточный уровень квалификации. Рассмотрим эту проблему более детально.

Специалисты, работающие с этими системами на этапе эксплуатации уникального объекта, пользуются ограниченными возможностями из-за отсутствия знаний и не используют весь потенциал объекта, что увеличивает затраты на эксплуатацию и характеризует нерациональное использование ресурсов. Это можно исправить, повысив квалификацию работающего персонала или наняв новых сотрудников.

Компании, использующие лицензированные САПР, имеют возможность бесплатно обучить своих сотрудников в компаниях-разработчиках этих систем [3].

На этапе расчета и конструирования зданий, недостаточная квалификация персонала может привести к серьезным последствиям, таким как: аварии, ненадежность систем жизнеобеспечения здания и другие сбои в процессе строительства и эксплуатации зданий. Особенно это касается уникальных и высотных зданий и сооружений, так как наряду с перечисленными факторами, для такого типа зданий существует угроза обрушения.

Используя САПР, возникает и такая проблема, как использование специалистами в процессе расчета и конструирования здания пиратских копий программных продуктов. В таком случае, используя эти продукты в процессе строительства и эксплуатации уникальных зданий, пользователи не смогут воспользоваться технической поддержкой со стороны разработчиков, так же для них не будет доступна возможность обновить программу, что опять же ведет к нерациональному использованию имеющихся ресурсов [4].

Для того, что бы минимизировать возможность использования пиратских программ систем автоматизации необходимо на государственном уровне вести борьбу против нелегального использования программных продуктов в строительстве.

Самой распространенной проблемой, с которой сталкиваются пользователи, используя современные САПР, является неправильный подбор системы автоматизации. Это связано с тем, что на сегодняшний день в России существует множество предложений по продуктам систем автоматизации, и среди этого множества программ необходимо выбрать программу, подходящую именно для целей конкретного объекта [4;5].

Для того, то бы правильно подобрать программное средство автоматизации необходимо обратиться к квалифицированным специалистам для проведения предварительного исследования предприятия. Квалифицированные специалисты, на основе проведенного анализа, смогут из всей массы предложений подобрать наиболее подходящий для объекта продукт, который сможет обеспечить полную комплексную автоматизацию объекта и решить все поставленные задачи.

В перспективе развития и использования САПР разработчикам необходимо будет усовершенствовать свои продукты. Сегодня уже есть те, кто создаёт не просто САПР зданий, а создаёт системы автоматизации нового поколения, в возможности которых входит

обеспечение тесной интеграции системы с программами смежных направлений. Интегрирование программ друг с другом позволит автоматизировать все стадии проектирования и строительства в одну информационную систему.

ВЫВОДЫ. Системы автоматизированного проектирования имеют большое значение в процессе проектирования уникальных зданий и сооружений. Особенно они актуальны для инженеров, проектировщиков и конструкторов на этапе расчета и конструирования объекта, а при их грамотном и профессиональном применении они являются незаменимым помощником в процессии строительства и эксплуатации зданий. В связи с этим, в ближайшее время, качество уникальных строений и уровень их безопасности в процессе жизнедеятельности, будет зависеть от эффективности и актуальности выбранных систем автоматизации.

Список литературы:

1. Информационно-математическое моделирование в задачах архитектуры и градостроительства [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://archvuz.ru/2012_1/5 (дата обращения: 29.11.2016).
2. Комплексы программ, применяемые для моделирования и расчета конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/kompleksy-programm-primenyaemye-dlya-modelirovaniya-i-rascheta-konstrukcii-zdaniy-i-sooruzhenii> (дата обращения: 25.11.2016).
3. Оленьков В.Д. Автоматизация диагностики технического состояния зданий и сооружений в процессе их эксплуатации / В.Д. Оленьков, Д.С. Попов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». - 2012. - Вып. 14. - № 17. - С. 82-85.
4. Обзор современных систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://bourabai.ru/graphics/dir.htm> (дата обращения: 30.11.2016).
5. Системы автоматизации и устойчивость зданий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.pamag.ru/src/system-automat.pdf> (дата обращения: 30.11.2016).

1.9. ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ МИГРАЦИИ ПЕРО-ПУХОВОГО УТЕПЛИТЕЛЯ В ОБЪЕМНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

Бекмурзаев Лёма Абдулхажиевич

*д-р техн. наук, профессор, Институт сферы обслуживания
и предпринимательства (филиал) Донского государственного
технического университета,
РФ, г. Шахты*

Фролова Наталья Владимировна

*магистрант, Институт сферы обслуживания
и предпринимательства (филиал) Донского государственного
технического университета,
РФ, г. Шахты*

ANALYSIS OF EXISTING QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE METHODS OF FEATHER-DOWN INSULATION MIGRATION IN A BULK COMPOSITE MATERIAL

Lema Bekmurzaev

*doctor of Engineering Science, Professor at Business services sector and
business activity Institute (branch) of the Don State Technical University,
Russia, Mines city*

Natalia Frolova

*master's Degree Student at Business services sector and business activity
Institute (branch) of the Don State Technical University,
Russia, Mines city*

Аннотация. В данной статье рассматриваются существующие методики оценки миграции перо-пухового утеплителя в объемных композиционных материалах. Предложена новая методика, которая более точно имитирует деформацию одежды во время ее эксплуатации

и позволяет сократить временные затраты на проведение испытания в лабораторных условиях.

Abstract. The existing methods of feather-down insulation migration assessment in bulk composites are considered in this article. A new method was offered. It models the clothes deformation during its use more closely and allows to reduce the time required to carry out tests in the laboratory.

Ключевые слова: перо-пуховой утеплитель (ППУ); объемный композиционный материал (композит); миграция.

Keywords: feather-down insulation (FDI); bulk composite material (composite); migration.

Современная одежда, защищающая человека от воздействия низких температур, зачастую представляет собой композиционный материал, одним из компонентов которого является объемный перо-пуховой наполнитель. Эффективность и работоспособность композиционного материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик [2, с. 22].

Композиционный материал (композит, КМ) – искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними [9].

Всем известно, что в процессе эксплуатации швейных изделий волокна мигрируют из структуры объемного утеплителя, проникая сквозь ткани верха и подкладки на наружную поверхность. Мигрировавшие на поверхность одежды волокна утеплителя ухудшают ее внешний вид, причем иногда до такой степени, что дальнейшее использование этой одежды становится невозможным.

В настоящее время научная мысль предлагает несколько способов определения интенсивности миграции перо-пухового утеплителя:

- ГОСТ 26464-85. Полотна нетканые. Метод определения миграции волокон. Прибор для определения миграции волокон ОИМ-1 (Рисунок 1). Пакет одежды 350 x 210 мм получает многократное возвратно-поступательное движение, имитируя условия носки одежды [4, с. 2]. Недостатки: длительность времени испытания, предназначен для испытания только нетканых полотен, не точно воспроизводит естественные виды деформации.

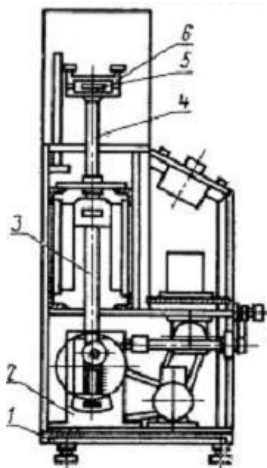


Рисунок 1. Прибор ОИМ-1:

1- корпус, 2 – привод, 3 - шатун, 4 – шток, 5 – оправа, 6 – зажим

- ГОСТ Р ЕН 12132-1-2011. Изделия перо-пуховые. Метод испытания перо- и/или пухопроницаемости тканей. Часть 1. Имитация процесса эксплуатации изделий. Из ткани, предназначенной для испытаний, изготавливают подушку 170 x 120 мм, которую наполняют перо-пуховой массой. Подушку закрепляют в приборе (Рисунок 2) и подвергают заданному числу трущих воздействий (2700 оборотов диска прибора в течение 20 минут) [6, с. 3]. Частота вращения диска соответствует средней скорости смещения центра тяжести человека при ходьбе. Недостатки: 20 минут – недостаточный промежуток времени для оценки пухопроницаемости ткани; осуществляется оценка образцов, отобранных только вдоль основных нитей ткани; отсутствуют критерии оценки результата испытания; в процессе естественной эксплуатации ткань (композиционный пакет) подвергается трущим воздействиям о саму себя, в испытании воспроизведению такого воздействия препятствует полиэтиленовый мешок; методика испытания позволяет испытать только один образец ткани, для испытания большего количества образцов, включая образцы подкладочной ткани, требуется больше времени.

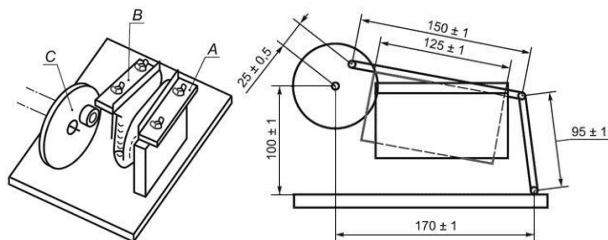


Рисунок 2. Прибор для испытания пухопроницаемости тканей по ГОСТ Р ЕН 12132-1-2011: А – зажим, закрепляемый на основании; В – зажим, прикрепляемый к диску; С – диск

• ГОСТ Р ЕН 12132-2-2011. Изделия перо-пуховые. Метод испытания перо- и/или пухопроницаемости тканей. Часть. 2. Испытание сжатием. Из ткани, предназначенной для испытания перо- и/или пухопроницаемости, изготавливают подушку цилиндрической формы (валик), которую наполняют определенным количеством пера, пуха или их смеси. Размеры развертки боковой поверхности валика – 210 x 476 мм. Валик помещают на наклонную плоскость прибора (Рисунок 3) - на пластину толкателя, оснащенную тремя штифтами. При включении прибора толкатель перемещает валик вверх по наклонной плоскости к неподвижной пластине, оснащенной одним штифтом. В результате происходит сжатие валика между штифтами обеих пластин. При обратном движении толкателя валик скатывается за ним вниз по наклонной плоскости и вновь принимает исходную форму. Процесс повторяют заданное число циклов [7, с. 2]. Недостатки: маленькая площадь и деформация сжатия образца; несоответствие задаваемых видов деформации деформациям, которые испытывают участки одежды в процессе эксплуатации.

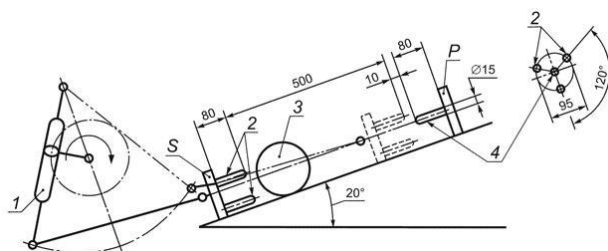


Рисунок 3. Прибор для испытания пухопроницаемости тканей по ГОСТ Р ЕН 12132-2-2011: 1 - кривошипный механизм; 2 - три штифта толкателя; 3 - валик; 4 - неподвижный штифт; S - нижняя пластина; P - верхняя пластина

- ГОСТ Р 12.4.236-2011. Прибор ящичного типа (Рисунок 4). Испытуемые пробы в виде рукава с сердечником из резиновой или латексной трубки хаотически перемещаются внутри вращающегося куба, стороны которого оклеены пробковыми пластинами. В процессе испытания пакет материалов претерпевает воздействия разнонаправленных усилий [5, с. 8]. Недостаток: несоответствие задаваемых видов деформации деформациям, которые испытывают участки одежды в процессе эксплуатации; трудоемкость процесса заготовки и крепления образцов на трубки.

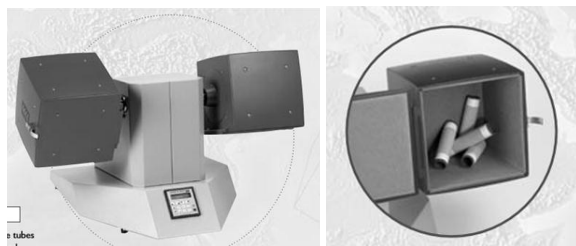


Рисунок 4. Прибор ящичного типа

- Методика НПО «Комплекс». Перо-пухопроницаемость материала оценивается по количеству элементов ППУ, проникшего через 1 дм^2 материала при многократном циклическом сжатии пробной подушки [8, с. 5] (Рисунок 5). Недостатки: большой расход перо-пухового утеплителя для изготовления образца; несоответствие заданной деформации образца, большая потеря частиц пера и пуха, проникших через ткань.

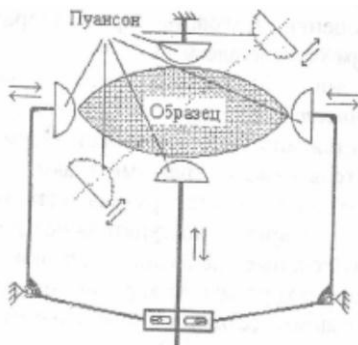


Рисунок 5. Прибор НПО «Комплекс»

- Методика УкрНИИТП. Сферическая головка прибора, падая под действием собственного веса, ударяет пробу по центру (Рисунок 6). Проба имеет форму квадратной подушки [12, с. 3]. Недостатки: большой расход перо-пухового утеплителя для изготовления образца, неравномерное распределение деформации образца, отсутствует трущее воздействие на образец.

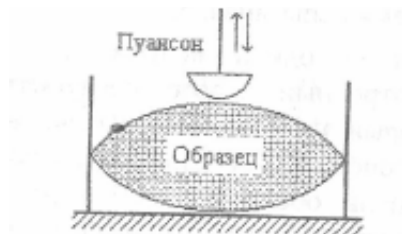


Рисунок 6. Прибор УкрНИИТП

- Прибор МОУ-1 для определения интенсивности миграции составляющих ППУ через материалы оболочки. Образец имеет форму цилиндра, высота которого равна 0,04 м, а диаметр основания – 0,1 м. Нижняя часть образца закрепляется на платформе прибора МОУ-1 (Рисунок 7), верхняя крепится на оправке нитью. Оправка сжимает ячейку, периодически совершая возвратно-поступательные движения [1, с. 100]. Недостаток: Однотипное воздействие на композиционный материал, высокая вероятность проникновения ППУ через проколы, совершенные иглой при фиксировании образца на оправке нитью.

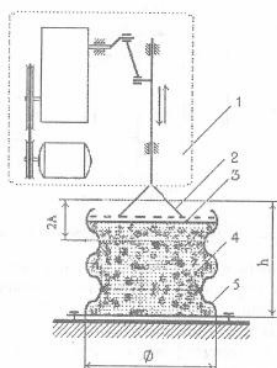


Рисунок 7. Прибор МОУ-1: 1- привод; 2- оправка; 3- исследуемый материал; 4- утеплитель; 5- боковая поверхность ячейки

- Прибор для определения миграции перо-пухового наполнителя (Рисунок 8). Деформация происходит за счет переворачивания и удара о столик образца [10, с. 2]. Недостаток: несоответствие задаваемых видов деформации деформациям, которые испытывают участки одежды в процессе носки, вероятность разрушения материала и ниток при взаимодействии с абразивом.

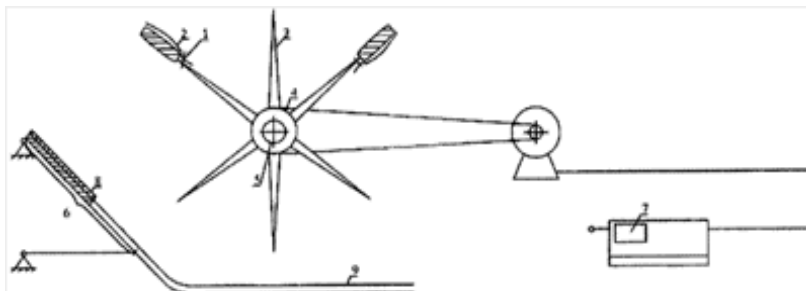


Рисунок 8. Прибор для определения миграции перо-пухового наполнителя ударным методом:

1 – зажим; 2 - съемная эластичная пластина; 3 крестовина, 4 - лопасть, 5 – ось; 6 - опорный столик; 7 - счетчик количества оборотов крестовины, являющийся средством контроля количества абразивных (ударных) воздействий; 8 – абразив; 9 - флокированная ткань.

- Прибор для определения миграции перо-пухового утеплителя через швы (Рисунок 9). Изготавливаются образцы пакетов с надстрочным посередине образца швом. Образец подвергается механической деформации ударного воздействия, химической чистке и бытовой стирке [11, с. 4]. Недостаток: однотипная деформация образца.

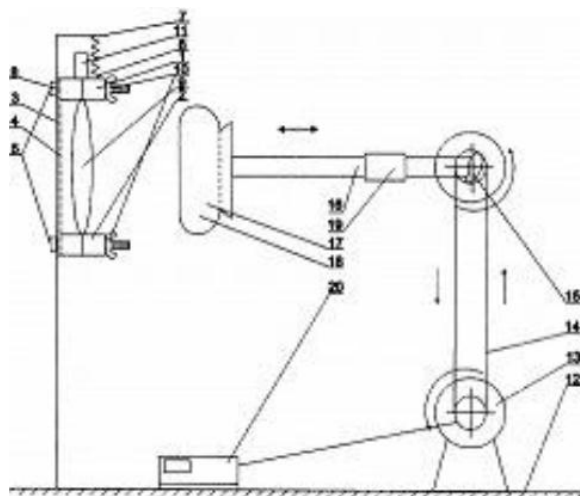


Рисунок 9. Прибор для определения миграции перо-пухового утеплителя через швы: 1, 2 – зажимы, 3- стойка, 4 – бархатная ткань, 5 – болты, 6 – пружина, 7 – стойка, 8 – паз, 9 – образец, 10 – гайки, 11 – груз предварительного натяжения, 12 – опорный столик, 13 – электродвигатель, 14 – клиноремная передача, 15 – эксцентрик, 16 – направляющая, 17 – толкатель, 18 – бархатная ткань, 19 - регулирующая гайка, 20 – счетчик

В ходе натурных исследований, было выявлено, что теплозащитный пакет подвергается двум типам механического воздействия: деформации сжатия и деформации одновременного сжатия и сдвига [1, с. 97]. Причем, чаще всего встречаются деформации второго типа. Представленные методики оценки миграции перо-пухового наполнителя не дают точных результатов, так как имитируют только один вид механического воздействия на теплозащитный пакет, и, следовательно, требуют доработки, что является основанием разработки более совершенной методики определения миграции ППУ в композиционном материале. Предлагается использовать прибор Crumpleflex Tester компании SDL Atlas, представленный на рисунке 10.

Данный прибор предназначен для подготовки образцов для последующего испытания водопроницаемости тканей со специальным покрытием при сминании и сгибании. Конструктивное решение Crumpleflex Tester позволяет адаптировать его для оценки миграции ППУ.



Рисунок 10. Crumpleflex Tester

В прибор Crumpleflex Tester входит 4 пары головок. Цилиндр, изготовленный из объемного пакета, помещают между двумя головками и закрепляют (Рисунок 11). Четыре головки зафиксированы, четыре – совершают возвратно-поступательные движения вдоль своей оси, что заставляет испытуемый образец ткани сжиматься в длину. В то же время в процессе движения головка смещается вокруг своей оси на 90 градусов. Это заставляет ткань скручиваться. Прибор тестирует свернутую в трубку и скрученную на 90 градусов ткань, которая в процессе испытания дополнительно перемененно растягивается и сжимается, имитируя движения человека. Исследуемый материал крепится на головки с помощью хомутов или клипс.

На рисунке 11 представлена схема движения головки: слева зафиксированная головка, справа – на расстоянии 180 мм установлена подвижная головка, которая в процессе испытания с помощью привода перемещается навстречу головке слева на 70 мм. Одновременно с возвратно-поступательным движением головка справа совершает вращательное движение на 90 градусов. За одну минуту головка производит 152 возвратно-поступательных движения и 200 вращений на 90 градусов.

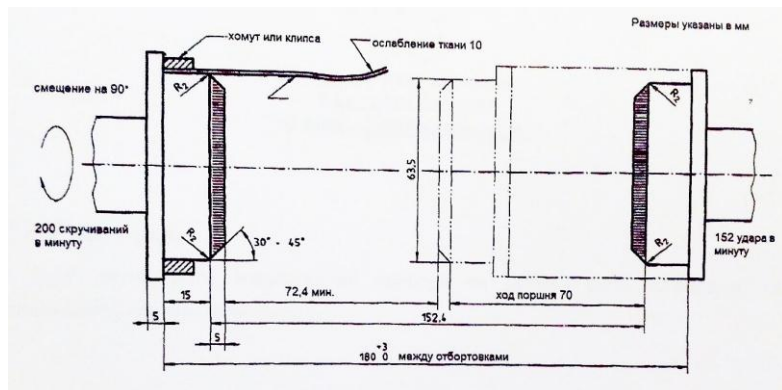


Рисунок 11. Головки для крепления образцов

Для исследования интенсивности миграции перо-пухового утеплителя на приборе Cumpflex Tester подготавливается образец пакета исследуемого композиционного материала и сшивается в виде цилиндра. Длина образующей цилиндра равна 190 мм, диаметр основания - 64 мм, припуск на шов – 5 мм.

В развертке образцы материала верха и подкладочной ткани имеют форму прямоугольника с размерами 220x190 мм (Рисунок 12). Данный размер образца уже включает в себя припуск на шов. Образцы материала верха и подкладочной ткани следует стачать вдоль длинных сторон прямоугольника, затем равномерно распределить ППУ между материалами, отступив 5 мм от края коротких сторон прямоугольника, свернуть получившийся пакет в форме трубки и стачать подкладочную тканью наверх вдоль открытой (короткой) стороны прямоугольника. Получившуюся заготовку вывернуть так, чтобы шов оказался на внутренней стороне трубки, а ткань верха – была снаружи. Строчки должны соответствовать требованиям стандарта к данному изделию [3, с. 3]. Образец исследуемого композиционного материала готов к испытанию.

Необходимо отобрать как минимум по 2 образца пакета по основе и по утку. Образцы следует вырезать таким образом, чтобы нити основы и утка у соседних образцов не повторялись, рекомендуется диагональная раскладка образцов. Необходимо отступить не менее 150 мм от кромки ткани при выкраивании образцов.

В основаниях цилиндр теплозащитного пакета крепится на головки с помощью хомутов или клипс. С помощью счетчика циклов возвратно-поступательных движений выставляется необходимое число

циклов, которое зависит от предъявляемых требований к данному материалу заказчиком, и, как правило, составляет не менее 1000 циклов.

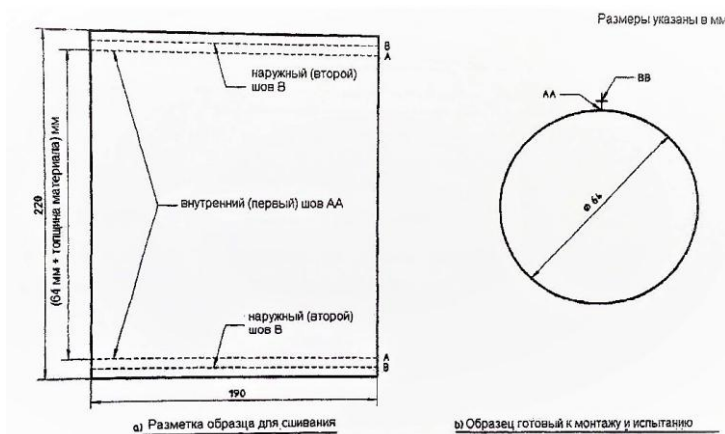


Рисунок 12. Размеры образца ткани

Crumpleflex Tester имеет прозрачную крышку из плексигласа толщиной 6 мм, закрывающую все образцы во время испытания, что защищает человека от случайного вдыхания разлетающихся частиц. Прибор оснащен системой автоматической остановки при открытии крышки, предотвращая травмоопасную ситуацию при работе с движущимися частями машины.

Во избежание потери выступивших на поверхность материала элементов утеплителя рекомендуется перед установкой образца композиционного материала в оборудование поместить его в полиэтиленовый мешок.

По истечении испытания образец аккуратно извлекается из оборудования, разрезается вдоль шва, и осуществляется визуальная оценка результатов испытания (Таблица 1).

Таблица 1.

Критерии оценивания результатов испытания

Общее количество мигрировавших и выступивших на поверхность ткани элементов ППУ	Оценка (баллы)
0	5
1-5	4
6-11	3
12-22	2
23+	1

В случае если один или два образца покажут значительно худший результат по сравнению с другими, необходимо подготовить дополнительные образцы и провести исследование повторно, затем дать оценку миграции ППУ вновь испытанным образцам, в протоколе испытания необходимо указать свои наблюдения. Оценивать следует как ткань верха, так и подкладочную ткань.

С помощью разработанной методики для оценки миграции ППС проведены исследования ткани для специальной одежды, защищающей от пониженных температур. В качестве материала верха были исследованы ткани ветро- и водозащитные, в качестве подкладочного материала – рипстоп. Образцы пакета по основе и по утку, подготовленные согласно предложенной методике, подвергались испытанию в течение 10000 циклов (возвратно-поступательных движения). Результаты испытания представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

**Результаты испытания, проведенного с помощью оборудования
Crumpleflex Tester**

Условное обозначение материала	Волокнистый состав материала	Вид отделки	Поверхностная плотность, г/м ²	Количество мигрировавших и выступивших на поверхность ткани элементов ППУ			
				образцы по основе		образцы по утку	
				Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
Ткань верха 1	Полиамид + Эластан	Покрытие силиконом, фтороуглеродородом	160,7	0	0	0	0
Ткань верха 2	Полиамид	Покрытие силиконом, фтороуглеродородом	89,4	0	0	0	0
Ткань верха 3	Полиамид	Мембрана ePTFE	105	0	0	0	0
Ткань верха 4	Полиамид	Мембрана ePTFE	125	0	0	0	0
Подкладочная ткань	Полиамид	Каландрование	52	2	1	2	2

Исследуемая площадь образца с учетом припусков на швы и области образца, скрытой под зажимом на головке, равна 306,6 см². Из результатов испытания видно, что все ткани верха и подкладочная

ткань обладают высокой ППУ резистивностью, что соответствует требованиям ГОСТ Р 12.4.236-2011 [5, с. 8].

Данная методика может быть также предварительным этапом перед проведением других испытаний, на результат которых может повлиять интенсивность миграции перо-пухового наполнителя. Так, дополнительно можно исследовать предел прочности на разрыв и при раздирании, воздухопроницаемость и гигроскопичность, водупорность и водоотталкиваемость. Также возможно исследовать влияние процесса стирки на интенсивность миграции ППУ.

Методика оценки миграции перо-пухового наполнителя на приборе Crumpleflex Tester имеет ряд достоинств по сравнению с другими известными методиками:

- Значительно экономит время, позволяя оценить весь объемный композиционный пакет сразу, а не отдельно его составляющие (ткань верха и подкладочную ткань), при этом оборудование позволяет испытывать одновременно 4 образца пакета.
- Crumpleflex Tester имитирует условия ношения одежды, наиболее приближенные к натурным.
- Применяется образец достаточного размера, чтобы объективно оценить его воздухопроницаемость.
- Небольшой расход ППУ для изготовления пакета-образца.
- Крепежные детали оборудования не препятствуют свободному выходу элементов утеплителя.
- Отсутствует вероятность разрушения целостности образца во время испытания.
- Потеря выступивших на поверхность материала элементов утеплителя невозможна за счет его покрытия полиэтиленовым мешком.
- Эксплуатация оборудования Crumpleflex Tester является безопасной для человека.

Список литературы:

1. Бекмурзаев Л.А. Проектирование изделий с объемными материалами: Монография. – Шахты: ЮГУЭС, 2001. – 195 с.
2. Бекмурзаев, Т.Л. Разработка методики комплексного проектирования объемных композиционных материалов для швейных изделий: дис. ... канд.техн.наук:05.19.04/Бекмурзаев Тамерлан Лемаевич - Шахты, - 2009.- 210 с.
3. ГОСТ 12807-2003 Изделия швейные. Классификация стежков, строчек и швов (Разделы 1-4, Приложение 1). - Введ. 2006-01-01. – 98 с.

4. ГОСТ 26464-85. Полотна нетканые. Метод определения миграции волокон. - Введ. 1987-01-01. - 7 с.
5. ГОСТ Р 12.4.236-2011 ССБТ. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования. - Введ. 2011-12-01. - 51 с.
6. ГОСТ Р ЕН 12132-1-2011. Изделия перо-пуховые. Метод испытания перо-и/или пухопроницаемости тканей. Часть 1. Имитация процесса эксплуатации изделий. - Введ. 2013-01-01. - 9 с.
7. ГОСТ Р ЕН 12132-2-2011. Изделия перо-пуховые. Метод испытания перо-и/или пухопроницаемости тканей. Часть. 2. Испытание сжатием. - Введ. 2013-01-01. - 8 с.
8. Методика определения перо-пухопроницаемости тканей на приборе НПО «Комплекс», М.,1986.
9. Определение композиционного материала. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru> (дата обращения: 26.10.2016 г.).
10. Пат. 113009 Российская Федерация, МПК G01N33/36. Прибор для определения миграции пухоперового наполнителя-утеплителя / Ефимова О.Г., Жафярова Г.Т., Профьева А.В., Ковалевский А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ивановская государственная текстильная академия. - №2011125676/15; заявл. 22.06.2011; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3. – 1 с.: ил.
11. Пат. 2497113 Российская Федерация, МПК G01N33/36. Способ оценки миграции перо-перовой смеси и устройство для его осуществления / Горбачева М.В., Березина М.А., Дьяконова Е.В., Метелева О.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ивановская государственная текстильная академия. - № 2012130503/15, заявл. 17.07.2012; опубл. 27.10.2013, Бюл. №30. – 18 с.: ил.
12. Способ оценки перо-пухопроницаемости тканей : ЭИ/ ЦБНТИ Минлегпрома УССР. – К. 1985.

1.10. ЭЛЕКТРОНИКА

ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД ДИАПАЗОНА 4-12 ГГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 550 МВт

Балаболин Александр Григорьевич

*начальник отдела, АО "НПП "Алмаз",
РФ, г. Саратов*

Титков Алексей Александрович

*начальник лаборатории, АО "НПП "Алмаз",
РФ, г. Саратов*

Пенькевич Никита Алексеевич

*аспирант, Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.,
РФ, г. Саратов*

TRANSISTOR AMPLIFIER STAGE RANGE 4-12 GHz WITH 550 MW OUTPUT POWER

Alexandr Balabolin

*head: Research and Development Division
of the Federal State Unitary Company «Almaz»,
Russia, Saratov*

Alexey Titkov

*head: Research and Development Division laboratory
of the Federal State Unitary Company «Almaz»,
Russia, Saratov*

Nikita Penkevich

*postgraduate Department of Electronic Devices and Equipment Yuri
Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov*

Аннотация. В статье представлен результат разработки усилительного каскада, выполненного по гибридно-интегральной технологии с применением полевых транзисторов с закороченными истоками. Представлены конструкция и экспериментальные характеристики как самого спроектированного каскада, так и усилителя на его основе.

Abstract. The results of the amplifier stage, based on the field-effect transistors with closed-circuited sources, performed by hybrid-integrated technology represented in this paper. Represented the construction and experimental characteristics of the designed stage and the amplifier, based on it.

Ключевые слова: СВЧ; pHEMT; усилительные каскады; GaAs.

Keywords: microwave; pHEMT; amplifier stage; GaAs.

Использование в многокаскадных широкополосных СВЧ усилителях схемы подключения транзисторов с закороченными истоками позволяет улучшить выходную мощность, коэффициент усиления и его равномерность в диапазоне рабочих частот и максимальную рабочую частоту усилительного каскада [3]. Однако, для обеспечения подачи отрицательного напряжения питания, необходимого для работы такого каскада, требуется наличие второго источника питания или инвертирующей схемы питания.

Спроектированный по гибридно-интегральной [2] технологии выходной усилительный каскад содержит пару двузатворных арсенид-галлиевых полевых транзисторов с затвором длиной 0,8 мкм, подключенных по схеме с общими истоками. На частотах 4-12 ГГц каскад обладает усилением до 550 мВт с коэффициентом усиления ~5 дБ.

Расчет топологии проводился в системе проектирования Agilent Advances Design System 2015 на основе анализа S-параметров выбранных транзисторов.

Плата усилительного каскада содержит входной и выходной ответители Ланге, с шириной зазора 22 мкм, шириной и толщиной проводника 47 мкм и 3 мкм соответственно. Расчет моста Ланге выполнялся в приложении EM Simulation по методу Momentum Microwave программы Advanced Design System 2012.

Материал платы – поликор толщиной 0,5 мм, в качестве подложки платы каскада выступает ковар толщиной 1,2 покрытый олово-висмутом. Соединение токопроводящих дорожек и ответвителей Ланге выполняется ультразвуковой сваркой золотой проволокой[4].

Для выбора оптимального режима работы транзистора используются пары подстроечных резисторов R1, R2; R3, R4,

регулирующих напряжение затвора и напряжение стока транзисторов соответственно.

Электрическая схема и внешний вид разработанного выходного усилительного каскада приведены на рисунках 1 и 2.

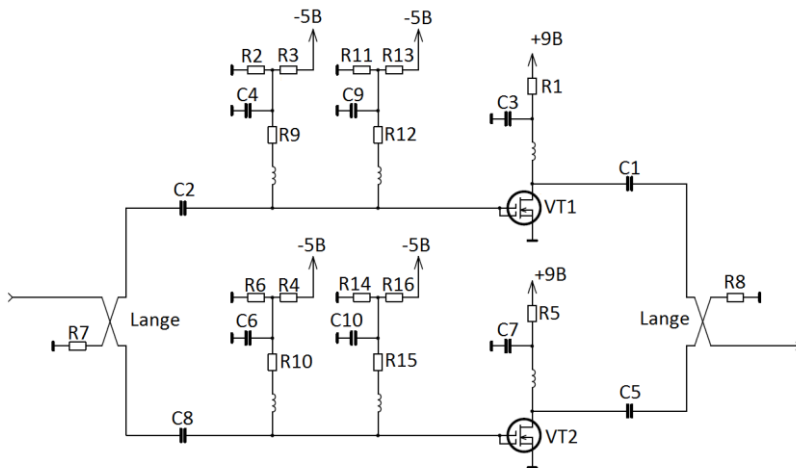


Рисунок 1. Электрическая схема выходного усилительного каскада диапазона 4 12 ГГц

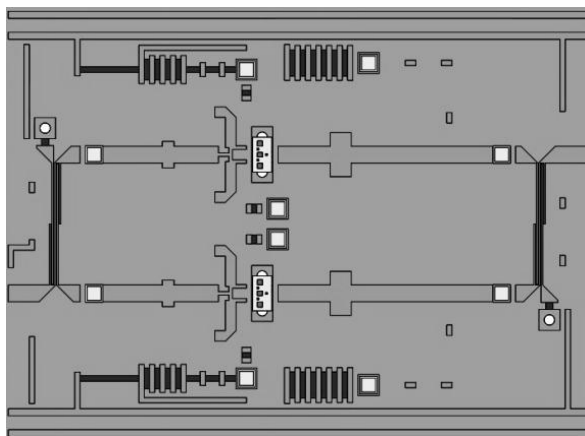


Рисунок 2. Внешний вид выходного усилительного каскада диапазона 4 12 ГГц

Экспериментальные АЧХ выходной мощности и коэффициента передачи каскада представлены на рис.3. В рабочем диапазоне 4-12 ГГц каскад обладает коэффициентом усиления не менее 4,5 дБ и мощностью в диапазоне 275-550 мВт.

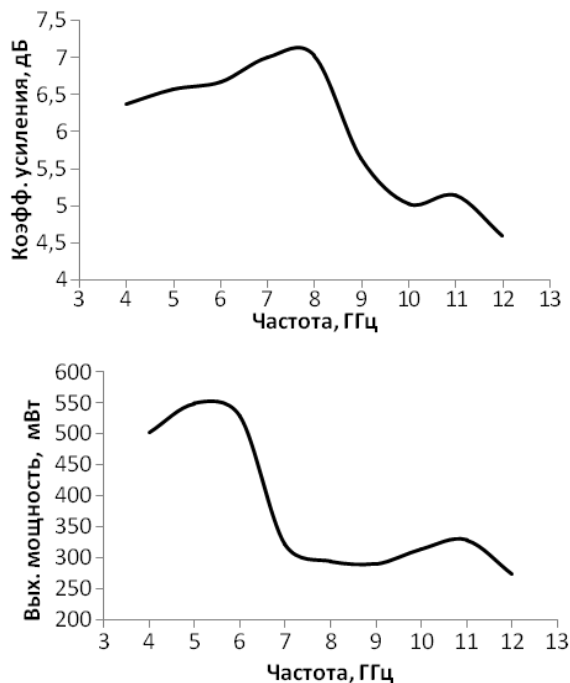


Рисунок 3. Коэффициент усиления и выходная мощность в рабочем диапазоне частот 4-12 ГГц

На основе данного выходного каскада был разработан твердотельный полупроводниковый усилитель, с рабочим диапазоном частот 4-12 ГГц. На рис. 4 представлена принципиальная структурная схема прибора, где 1,3 - маломощные усилительные каскады, 2 - корректор фазы, 4 и 5 - предусилительные каскады, 6 - описанный выше усилительный каскад.

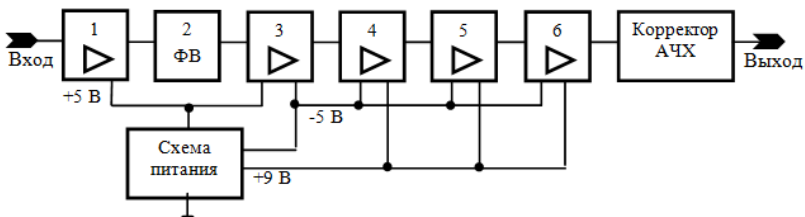


Рисунок 4. Структурная схема усилителя

Такое построение обеспечивает на рабочем диапазоне частот коэффициент усиления СВЧ сигнала ~ 25 дБ и выходную мощность ~ 400 мВт, при токе потребления не превышающем 700 мА. Номинальная фазовая неидентичность $\pm 30^\circ$, достижимая фазовая неидентичность $\pm 15^\circ$ [1]. коэффициент шума в данной схеме составляет не более 8 дБ.

Список литературы:

1. Беляева, Ю.А. Вопросы получения фазоидентичных широкополосных СВЧ - усилителей / Ю.А. Беляева, А. Б. Данилов, А.Д. Рафалович // Электронные приборы и устройства СВЧ: материалы науч.-техн. конф., посвященной 50-летию ФГУП "НПП"Алмаз", 28-30 августа 2007 г. Саратов 2007. С. 60-65
2. Меркулов, А.И. Основы конструирования интегральных микросхем / А.И. Меркулов, В.А. Меркулов// Самара: СГАУ, 2013.
3. Bahl, J. Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers / J. Bahl // New Jersey: John Wiley&Sons Inc., 2009. P. 68-70.
4. Harman, G. Wire Bonding In Microelectronics 3 ed./ G. Harman // N.Y.: McGraw-Hill, 2010.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИКА

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

АЛГОРИТМ ПЕРЕБОРА ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНО НЕЗАВИСИМЫХ ВЕКТОРОВ, ЭЛЕМЕНТЫ КОТОРЫХ ПРИНАДЛЕЖАТ МНОЖЕСТВУ $\{0,1\}$

Додонова Наталья Леонидовна

*кандидат физико-математических наук, доцент,
СГАУ им. академика С.П. Королева,
РФ, г. Самара*

Хантова Анна Дмитриевна

*студент, институт информатики, математики и электроники
Самарского национального исследовательского университета
имени академика С.П. Королева,
РФ, г. Самара*

ALGORITHM OF SEARCHING ALL POSSIBLE LINEARLY INDEPENDENT SYSTEMS OF VECTORS WHICH ELEMENTS BELONG TO THE SET $\{0, 1\}$

Natalia Dodonova

*candidate of Physics and Mathematics, assistant professor
in Samara University,
Russia, Samara*

Anna Khantova*student, faculty of informatics, mathematics and electronics
of Samara University,
Russia, Samara*

Аннотация. В работе представлен алгоритм перебора всех возможных линейно независимых систем векторов, элементы которых принадлежат множеству $\{0,1\}$. Доказано, что все системы различны между собой и выбраны все возможные варианты.

Abstract. There is an algorithm of searching all possible linearly independent systems of vectors which elements belong to the set $\{0, 1\}$ in the work. It is proved that all systems are different and all possible systems are selected.

Ключевые слова: линейно независимая система векторов.

Keywords: linearly independent systems of vectors.

Рассмотрим матрицу M размера $[k,n]$ где каждый элемент принадлежит множеству $\{0,1\}$.

Правило произведения: если элемент a можно выбрать m способами и независимо от него элемент b выбрать n способами, то все различные комбинации элементов « a и b » можно выбрать $m*n$ способами. При этом пара (a, b) отличается от пары (b, a) . Следовательно, первый элемент совокупности из k элементов можно выбрать n_1 способами, второй – n_2 способами и так далее, то количество вариантов, которыми можно выбрать вектор (b_1, b_2, \dots, b_k) равно $n_1*n_2*\dots*n_k$. Таким образом, каждую строку матрицы M можно выбрать $2*2*\dots*2=2^n$ способами.

Каждый способ выбора строки - вектор - обозначим w_i . Тогда множество всех векторов-строк матрицы M - $E_I = \{w_0, w_1, \dots, w_{2^n-1}\}$. Тогда матрица M – это k элементов из множества E_I . Значит, всего $(2^n)^k = 2^{n*k}$ всех возможных матриц, элементы которых принадлежат множеству $\{0,1\}$. Заметим, что если строить матрицу по столбцам, мы получим тот же результат – каждый столбец матрицы M можно выбрать 2^k способами. Множество всех векторов-столбцов матрицы M - $E_I = \{w'_0, w'_1, \dots, w'_{2^k-1}\}$. Тогда количество всех возможных матриц, элементы которых принадлежат множеству $\{0,1\}$, равно $(2^k)^n = 2^{k*n}$.

Матрица – система векторов. Система векторов e_1, e_2, \dots, e_l линейно независима (ЛНЗ) если линейная комбинация $c_1*e_1 + c_2*e_2 + \dots + c_k*e_k$ представляет собой нулевой вектор только и только тогда, когда все числа c_i равны нулю. Поскольку каждый элемент вектора может быть

равен только 0 или 1, то и любой коэффициент c_i принадлежит множеству $\{0,1\}$.

Согласно одному из свойств ЛЗ и ЛНЗ системы векторов, если в систему строк (столбцов) входит нулевая строка (столбец), то система ЛЗ. Значит, мы должны исключить нулевой вектор из множества векторов, из которого мы выбираем строки: $E_2 = E_1 | w_0 = \{w_1, w_2, \dots, w_{2^n-1}\}$. Количество таких матриц $(2^n-1)^k$.

Система также является ЛЗ, если в неё входят одинаковые строки. Поэтому выбирать строки мы будем без повторов. Количество таких матриц можно посчитать по формуле (1).

$$(2^n - 1) * (2^n - 2) * \dots * (2^n - k) = \frac{(2^n-1)!}{(2^n-k-1)!} \quad (1)$$

Алгоритм перебора всех возможных систем ЛНЗ векторов.

Имеется 2^n-1 векторов. $(w_1, w_2, \dots, w_{2^n-1})$ – список векторов. Составлять ЛНЗ системы будем по следующему алгоритму.

Имеется k мест. S – номер места.

$\underline{k} \ \underline{k-1} \ \dots \ \underline{3} \ \underline{2} \ \underline{1}$ - порядок нумерации мест.

На каждое место выбирается вектор из списка. Вектора не могут повторяться. Порядок векторов не важен. Поэтому в алгоритме при решении о включении вектора в систему мы можем рассматривать только вектора, находящиеся справа от текущего, т.к система векторов (w_1, w_2, w_3) и, например, система векторов (w_2, w_3, w_1) будут считаться одной системой.

Считаем, что место на которое указывает текущее S и все места после него не заняты. Если на места были выбраны вектора, а после этого S переместился так, что эти места оказались после S , то они считаются освобожденными.

$W[S]$ - вектор w на месте S

$I(W[S])$ – номер i вектора w на месте S

На начало алгоритма $S=k, i=1$, где i номер вектора.

1. На место k выбираем первый вектор из списка w_1 . Тогда $S=k-1, i=2$.

$\frac{W_i^s}{k \ k-1 \ 2 \ 1} \dots \text{---}$

2. Если не превысили число векторов w_i , т.е $i < 2^n$

2.1. Если вектор w_i является линейной комбинацией предыдущих векторов $W_i = C_{i-1} * W_{i-1} + C_{i-2} * W_{i-2} + \dots + C_1 * W_1$, где каждое $C_j \in \{0; 1\}$, то не включаем этот вектор в систему, $i = i+1$ и переходим на шаг 2

2.2. Включаем в систему вектор W_i из списка, переходим на следующее место $S = S-1$

$$\frac{W_1}{k-k-1} \frac{W_2}{k-2} \dots \frac{W_s}{s} \dots$$

2.3. Если $S=0$, т.е мы выбрали вектора на все k мест,

$$\frac{W_1}{k-k-1} \frac{W_2}{1} \dots \frac{W_s}{s}$$

фиксируем полученную систему, $S = S+1$

$$\frac{W_1}{k-k-1} \frac{W_2}{1} \dots \frac{W_s}{s}$$

2.4. $i = i+1$, переходим на шаг 2

3. Если превысили число векторов w_i , т.е $i > 2^n$

3.1. Если место текущего включаемого вектора $S=k-1$, и количество оставшихся векторов меньше, чем мест в системе $2^n - I(W[S]) < k-1$, то алгоритм завершен

3.2. Иначе $I = I(W[S+1]) + 1$, $S = S+1$, и переходим на шаг 2

Данный алгоритм можно представить в виде блок-схемы (рисунок 1).



Рисунок 1. Алгоритм перебора всех возможных ЛНЗ систем векторов

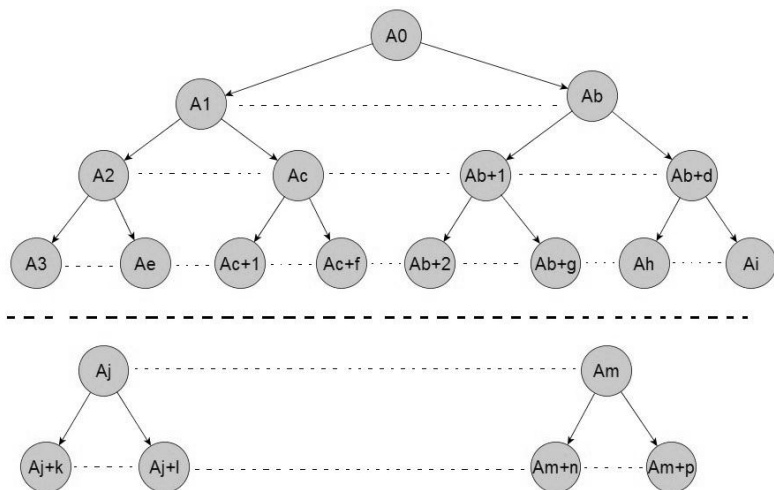


Рисунок 2. Дерево выбора вектора

Из каждой полученной системы векторов - матрицы мы можем получить $k!$ ЛНЗ матриц. Таким образом, перебор всех возможных ЛНЗ матриц можно представить в виде дерева высоты $k+1$ (рисунок 2). Каждая вершина дерева означает выбранный вектор на m -ом месте, где m – ярус дерева. Вершина A_0 на нулевом ярусе не соответствует никакому вектору и месту. Поскольку в алгоритме мы рассматривали только вектора, находящиеся справа от последнего включенного вектора, все потомки одного предка упорядочены по своему положению в списке слева направо от первого вектора в оставшемся списке до последнего возможного. Также каждая вершина-вектор потомок находится в списке правее вершины-вектора предка.

Каждая простая цепь от корня дерева до конечного узла является набором ЛНЗ векторов. Все наборы различны между собой, и перебрав все полученные с помощью дерева наборы ЛНЗ векторов, мы переберем все возможные варианты.

Доказательство:

1) Каждая простая цепь от корня дерева до конечного узла является набором векторов. Поскольку, согласно алгоритму, вектора в наборах не повторяются, а также на каждое i -ое место не включаются вектора, являющиеся линейной комбинацией предыдущих $i-1$ векторов в наборе, то каждая простая цепь от корня дерева до конечного узла является набором ЛНЗ векторов.

2) Поскольку все потомки одного предка упорядочены по своему положению в списке слева направо от первого вектора в оставшемся списке до последнего возможного, а каждая простая цепь от корня дерева до конечного узла является набором векторов, то все получившиеся наборы векторов будут различны.

3) Согласно алгоритму, мы включаем в систему подходящие векторы до тех пор, пока это возможно: пока есть места и не включенные еще вектора. Если одно из условий не соблюдается, мы «отходим» на позицию назад и ищем на эту позицию новый, еще не включавшийся вектор. При включении нового вектора, набор векторов удовлетворяющих условию $W_i = C_{i-1} * W_{i-1} + C_{i-2} * W_{i-2} + \dots + C_1 * W_1$ может измениться, поэтому мы заново просматриваем все вектора, начиная от $i+1$ к вектору, добавленному на предыдущую позицию. А т.к мы сохраняем все включенные вектора, за исключением последнего, то получается, что мы перебираем все варианты с «конца» системы

Список литературы:

1. Комбинаторика. [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: http://sernam.ru/book_e_math.php?id=55 (дата обращения 05.05.2016)
2. Комбинаторика. Размещения, перестановки, сочетания [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://hijos.ru/izuchenie-matematiki/algebra-10-klass/18-kombinatorika-razmeshheniya-perestanki-sochetaniya/> (дата обращения 05.05.2016)
3. Линейная зависимость и независимость, свойства, исследование системы векторов на линейную зависимость, примеры и решения [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: http://www.cleverstudents.ru/vectors/linear_dependence.html (дата обращения 17.05.2016)
4. Перестановки. Подсчет числа перестановок [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://mathematchka.ru/school/combinatorics/combination.html> (дата обращения 05.05.2016)

2.2. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНИВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Емельянова Татьяна Вениаминовна

*канд. физ.-мат. наук,
Томский государственный университет – ТГУ,
РФ, г. Томск*

Иващенко Анна Олеговна

*магистрант, Томский государственный университет – ТГУ,
РФ, г. Томск*

RESEARCHING OF SEQUENTIAL ESTIMATION OF THE AUTOREGRESSION MODEL'S PARAMETERS

Tatyana Emelyanova

*candidate of Physical and Mathematical Sciences
Tomsk State University – TSU,
Russia, Tomsk*

Anna Ivashchenko

*master, Tomsk State University – TSU,
Russia, Tomsk*

Аннотация. В задачах обработки временных рядов, прогнозировании, идентификации, экономических исследованиях широко применяются авторегрессионные модели, параметры которых, как правило, неизвестны. Рассматривается задача оценивания параметров модели устойчивой авторегрессии первого порядка, а также исследование качества полученных оценок.

Abstract. The problems of processing time series, prediction, identification, economical researches are widely used autoregression

models. The parameters of that models are usually unknown. The article discusses the problem of estimating and researching of quality the estimators of autoregression model's parameters.

Ключевые слова: модель авторегрессии; последовательный подход к оцениванию параметров; момент остановки.

Keywords: autoregression model; sequential estimation of the parameter; stopping rule.

Рассматривается авторегрессионный процесс первого порядка, описанный разностным уравнением

$$X_i = \beta X_{i-1} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $X_0 = 0$, ε_i – независимые одинаково распределенные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и конечной дисперсией, $|\beta| < 1$. Чаще всего для оценивания параметра модели авторегрессии первого порядка AR(1) применяют метод наименьших квадратов (МНК) [1]. Можно рассмотреть последовательную процедуру оценивания по методу наименьших квадратов, в которой число наблюдений не фиксируется заранее. Процесс наблюдений останавливается в некоторый случайный момент времени [3]. Рассмотрим последовательную оценку, представляющую собой оценку по методу наименьших квадратов, вычисленную в момент остановки

$$\hat{\beta}_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i X_{i-1}}{\sum_{i=1}^n X_{i-1}^2} \quad (2)$$

При использовании байесовского подхода к оцениванию параметров вводится некоторая функция потерь $L_n(\hat{\beta}_n, \beta)$, которая является мерой расхождения между истинным значением параметра и его оценкой [4]. В свою очередь риск \bar{R}_n определяется как математическое ожидание функции потерь.

Проведя некоторые математические расчеты, можно получить, \bar{R}_n минимизируется объемом выборки $n_0 \approx A \frac{1}{\sigma}$.

Ситуация осложняется в том случае, когда неизвестны значения дисперсии и параметра [1]. Для такой ситуации предлагается последовательный подход к оцениванию [5]. При этом пользуются правилом остановки, построенным по наблюдаемому процессу

$$t_A = \inf \left\{ n \geq m_A : n \geq A^2 \widehat{\sigma}_n^2 \right\} \quad (3)$$

Здесь $\widehat{\sigma}_n$ – выборочная оценка дисперсии и m_A заранее заданный объем выборки. Таким образом, риск, с учетом заданного правила остановки

$$R_{t_A} = E L_{t_A}(\widehat{\beta}_{t_A}, \beta)$$

Оценка \widehat{X}_{t_A} является асимптотически эффективной, следовательно, $\frac{R_{t_A}}{R_n} \rightarrow 1$ при $t_A \rightarrow 0$. Более того, правило остановки также является асимптотически эффективным, то есть $\frac{E(t_A)}{n_0} \rightarrow 1$ [3].

При исследовании полученных оценок параметров авторегрессионной модели было сделано предположение о том, что разность рисков $R_{t_A} - \widetilde{R}_{n_0}$ является бесконечно малой величиной при $A \rightarrow \infty$. Для подтверждения данного предположения, проведено имитационное моделирование, результатами которого продемонстрировано, что разность рисков при использовании последовательной процедуры оценивания может принимать отрицательные значения даже для распределений с нормальными ошибками [2].

В качестве иллюстрации, рассмотрим результаты имитационного моделирования, проведенного для смешанного нормального распределения:

$$\xi_1 \in N(0,1), \xi_2 \in N(0,9) \varepsilon^2 \sim 0.95\xi_1 + 0.05\xi_2, \sigma^2 = 1.4.$$

Рассмотрим разность рисков при последовательном и байесовском подходе к оцениванию параметра в случае смешанного нормального распределения. В таблице указаны результаты вычислений при различных значениях $A = \frac{1}{c}$. Здесь n_0 – количество наблюдений в момент остановки t_A ; $\widetilde{R}_{n_0}^*$ – оценка риска при количестве наблюдений n_0 ; β^{t_A} – оценка параметра модели авторегрессии в момент остановки t_A ; $\sigma^{t_A^2}$ – оценка дисперсии в момент остановки t_A . Под разностью рисков понимается разность между риском R_{t_A} , вычисленным в момент остановки t_A , и оценкой риска $\widetilde{R}_{n_0}^*$ при количестве наблюдений n_0 .

Таблица 1.

Смешанное нормальное распределение:
 $\xi_1 \in N(0, 1), \xi_2 \in N(0, 9)\varepsilon^2 \sim 0.95\xi_1 + 0.05\xi_2, \sigma^2 = 1.4$

β	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A=400, n0≅ 23.66									
$R_{n_0}^{\wedge}$	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33	47.33
Разность рисков	11.28	13.49	15.77	19.81	22.75	26.54	31.74	38.78	47.29
$\beta_{t_a}^{\wedge}$	0.08	0.18	0.28	0.39	0.49	0.6	0.71	0.8	0.9
$\sigma_{t_a}^{\wedge 2}$	2.63	2.63	2.63	2.72	2.71	2.69	2.66	2.62	2.56
A=1000, n0≅37.42									
$R_{n_0}^{\wedge}$	74.83	74.83	74.83	74.83	74.83	74.83	74.83	74.83	74.83
Разность рисков	1.6	4.07	7.81	11.49	16.59	24.14	35.27	51.35	63.62
$\beta_{t_a}^{\wedge}$	0.11	0.2	0.3	0.4	0.5	0.57	0.68	0.78	0.94
$\sigma_{t_a}^{\wedge 2}$	2.22	2.22	2.27	2.27	2.26	2.25	2.27	2.27	2.28
A=4000, n0≅ 74.83									
$R_{n_0}^{\wedge}$	149.67	149.67	149.67	149.67	149.67	149.67	149.67	149.67	149.67
Разность рисков	-30.14	-26.59	-22.01	-15.34	-4.55	13.49	41.82	76.77	85.51
$\beta_{t_a}^{\wedge}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.62	0.7	0.8	0.9
$\sigma_{t_a}^{\wedge 2}$	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76
A=10 000, n0≅ 118.32									
$R_{n_0}^{\wedge}$	236.64	236.64	236.64	236.64	236.64	236.64	236.64	236.64	236.64
Разность рисков	-72.85	-69.81	-65.59	-58.99	-47.81	-28.3	4.25	47.69	56.9
$\beta_{t_a}^{\wedge}$	0.1	0.2	0.3	0.39	0.49	0.6	0.71	0.8	0.9
$\sigma_{t_a}^{\wedge 2}$	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66

На рисунке продемонстрирован график, описывающий разность рисков в случае смешанного нормального распределения.

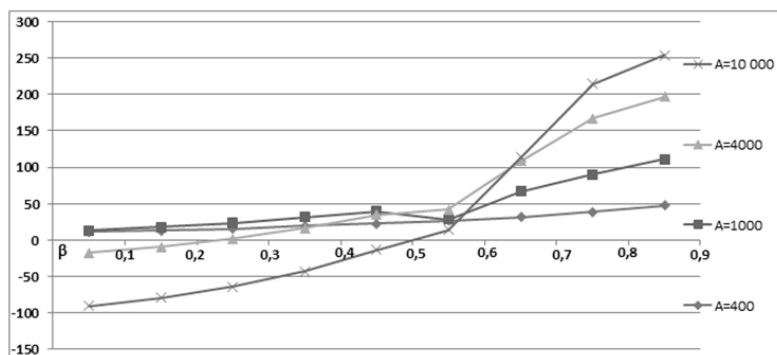


Рисунок 1. Разность рисков в случае смешанного нормального распределения

В случае смешанного нормального распределения при небольших значениях параметра и больших значениях цены наблюдений разности рисков отрицательны. При $\beta \geq 0,6$ разности рисков становятся положительными.

Таким образом, последовательный метод оценивания параметров позволяет получить оценки с гарантированным качеством в среднеквадратическом смысле за конечное время. Время оценивания определяется правилом остановки, построенным по наблюдаемому процессу.

Имитационное моделирование позволяет продемонстрировать, что использование последовательного оценивания параметров эффективно минимизирует риск функции потерь.

Список литературы:

1. Иващенко А. Идентификация параметров модели устойчивой авторегрессии / А. О. Иващенко// Молодёжь и современные информационные технологии. – 2016 г. – Т. 1 – С. 85-86.
2. Иващенко А. Последовательный подход к оцениванию параметра авторегрессии первого порядка/ А. О. Иващенко// Современные проблемы математических и естественных наук в мире. – 2015 г. – С. 24-27.
3. Sriram T. Sequential Estimation for Time Series Models / T.N. Sriram, R.Iaci // Sequential Analysis: Design Methods and Applications. – 2014. – V. 33. - P. 136-157.
4. Sriram T. Sequential Estimation of the autoregressive parameter in a first order autoregressive process / T.N. Sriram// Sequential Analysis: Design Methods and Applications. – 1988. – V. 7(1). – P. 53-74.
5. Sriram T. Sequential Estimation of the Mean of a First-Order Stationary Autoregressive Process / T.N. Sriram // The Annals of Statistics. – 1987. – V. 15. – P. 1079-1090.

РАЗДЕЛ 3.

ФИЗИКА

3.1. ОПТИКА

ХЕМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕНСОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ СРЕД

Сергеев Александр Александрович

*канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник,
Дальневосточный федеральный университет,
РФ, г. Владивосток*

Сергеева Ксения Андреевна

*младший научный сотрудник, Дальневосточный федеральный
университет,
РФ, г. Владивосток*

Дубинкина Екатерина Сергеевна

*канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник,
Дальневосточный федеральный университет,
РФ, г. Владивосток*

Толстоногов Антон Юрьевич

*научный сотрудник, Дальневосточный федеральный университет,
РФ, г. Владивосток*

Кульчин Юрий Николаевич

*доктор физико-математических наук, профессор,
Дальневосточный федеральный университет,
РФ, г. Владивосток*

CHEMO SENSITIVE HETEROGENEOUS NANOSTRUCTURES FOR LUMINESCENT SENSORS OF AQUEOUS MEDIA POLLUTIONS

Aleksandr Sergeev

*candidate of Physical sciences, researcher, Far Eastern Federal University,
Russia, Vladivostok*

Ksenia Sergeeva

*junior researcher, Far Eastern Federal University,
Russia, Vladivostok*

Ekaterina Dubinkina

*candidate of Physical sciences, junior researcher,
Far Eastern Federal University,
Russia, Vladivostok*

Anton Tolstonogov

*researcher, Far Eastern Federal University,
Russia, Vladivostok*

Yuri Kulchin

*doctor of Physical sciences, professor, Far Eastern Federal University,
Russia, Vladivostok*

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда
(проект №14-50-00034).*

Аннотация. Работа посвящена созданию и исследованию нового типа чувствительного элемента люминесцентной сенсорной системы для ионов металлов в водных растворах, который представляет собой гидрофильный полимер, модифицированный ионочувствительным индикатором. Результаты комплексного исследования основных характеристик люминесценции: времени жизни, спектра возбуждения и излучения чувствительного элемента в присутствии аналита различной концентрации демонстрируют возможность проведения как качественного, так и количественного определения концентрации ионов металлов в водных растворах.

Abstract. Here we report a novel sensitive element of luminescent sensor system for the detection of metal ions in aqueous solution. This sensitive element is based on a hydrophilic polymer film which modified by

ion-sensitive luminescent indicator. In an analyte presence a changing of the basic luminescence parameters such as luminescence lifetime, emission and excitation spectrum occurs. It was shown that complex analysis of luminescence parameters of sensitive element in analyte presence allows to perform qualitative and quantitative measurements of metal ions in aqueous solutions.

Ключевые слова: биополимер; хитозан; сенсор; люминесценция; ионы металлов.

Keywords: biopolymer; chitosan; sensor; luminescence; metal ions.

В настоящее время методы аналитической химии позволяют эффективно определять наличие широкого спектра ионов тяжелых металлов в водных растворах [1, с. 129]. При этом, измерения проводятся с использованием индикаторов [2, с. 59], изменяющих люминесценцию в присутствии ионов определяемого вещества (аналита) [3, с. 20]. Однако данный метод, требует проведения исследований в лабораторных условиях, и трудно адаптируем для реальной среды. В этой связи, разработка новых чувствительных элементов оптических сенсоров и организации сенсорной системы в целом, позволяющей совместить чувствительность аналитических методов с возможностью проведения измерений в реальных условиях является актуальной.

В данной работе приведены результаты разработки и исследования нового чувствительного элемента для определения ионов металлов в водных растворах, представляющего собой тонкую пленку из гидрофильного биополимера, модифицированную ионочувствительным люминофором. Показана возможность использования основных характеристик люминесценции индикатора в качестве информативных параметров при регистрации сенсорного отклика. В качестве примера, иллюстрирующего перспективность применяемых подходов, представлены результаты определения ионов меди в водных растворах при помощи 2-(бензоиламино)-3-[4-(диметиламино)фенил]-акриловой кислоты – люмокупферона, внедренного в хитозановую матрицу.

Для получения чувствительных структур использовался 1% водный раствор высокомолекулярного хитозана (степень деацетилирования 80%, молекулярная масса $\approx 10^6$ Да) в 1% уксусной кислоте, в который при интенсивном помешивании добавлялся насыщенный раствор люмокупферона в ацетоне. Чувствительные структуры наносились на кремниевые подложки размером 1x1 см. Подложки предварительно обрабатывались раствором $\text{NH}_4\text{OH}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ (1:1:1) в ультразвуковой бане в течение двух часов, промывались дистилли-

рованной водой и высушивались в сушильном шкафу при температуре 100 °С в течение 12 часов. Для формирования структур однородной толщины использовался метод центрифугирования при угловых скоростях 1000 об./мин. в течение двух минут. Толщина полученных структур составила 500 нм.

Растворы ионов меди требуемой концентрации получались путем растворения $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ в деионизированной воде при различном молярном соотношении.

Исследования люминесцентных и сенсорных характеристик проводились на спектрофлуориметре Horiba Fluorolog3 (Япония). Спектры люминесценции регистрировались с шагом 1 нм, при времени усреднения 0.1 с. Исследования кинетики формирования сенсорного отклика проводились на максимуме эмиссии комплекса $\lambda = 450$ нм, при длине волны возбуждающего излучения $\lambda = 340$ нм. Исследования кинетики затухания люминесценции проводились методом временно-коррелированного счета единичных фотонов с наносекундным диодом ($\lambda = 340$ нм) в качестве источника излучения.

В настоящее время флуоресцентные измерения химических веществ в водном растворе основаны на измерении интенсивности или спектра люминесценции хемочувствительной структуры в присутствии аналита [4, с. 1568]. В случае люмокупферона в присутствии ионов меди происходит образование хорошо люминесцирующего фотодимера из слабо люминесцирующей формы реактива (рис. 1).

Можно видеть, что при внедрении в хитозановую матрицу люмокупферон сохраняет свою чувствительность. В присутствии ионов меди максимум люминесценции смещается в длинноволновую область, а интенсивность люминесценции увеличивается. Сенсорный отклик имеет ярко выраженную концентрационную зависимость, что выражается в увеличении интенсивности люминесценции при повышении концентрации аналита. Рабочий диапазон чувствительных структур составляет 1-300 мкМ, выше которого наступает режим насыщения(рис.1б).

Нами установлено, что сенсорные характеристики хемочувствительного покрытия могут быть дополнительно улучшены путем комплексного анализа спектров возбуждения и излучения. Это связано с тем, что образование димерной формы люмокупферона приводит не только к изменению характеристик спектра люминесценции чувствительного покрытия, но и к изменению его спектра возбуждения (рис. 2а). В присутствии ионов меди происходит смещение спектра возбуждения люминесценции чувствительного покрытия в длинноволновую область на величину не менее 40 нм, сопровождаемое увеличением эффективности возбуждения люминесценции.

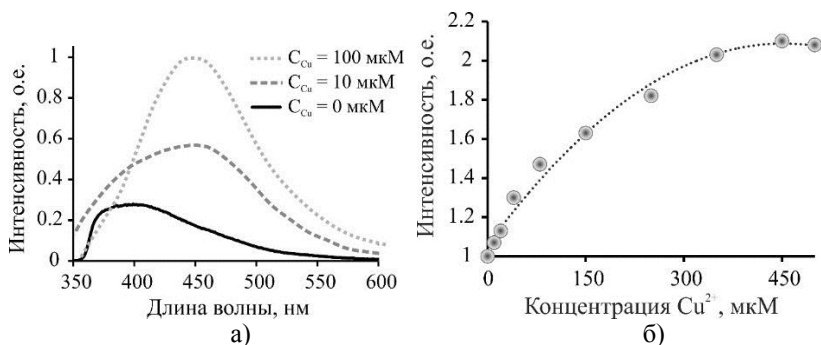


Рисунок 1. (а) изменение спектра эмиссии люминесценции хемочувствительных структур в присутствии ионов меди; (б) зависимость интенсивности люминесценции хемочувствительных структур от концентрации аналита

Сравнение величин сенсорного отклика при регистрации спектров эмиссии и возбуждения (рис. 2б) демонстрируют возможность амплитудного усиления сенсорного отклика при регистрации спектров возбуждения. В то же время, чувствительность структур, характеризуемая как тангенс угла наклона зависимости оптического отклика от концентрации аналита при регистрации спектров возбуждения люминесценции сохраняется на том же уровне, что и при регистрации спектров эмиссии.

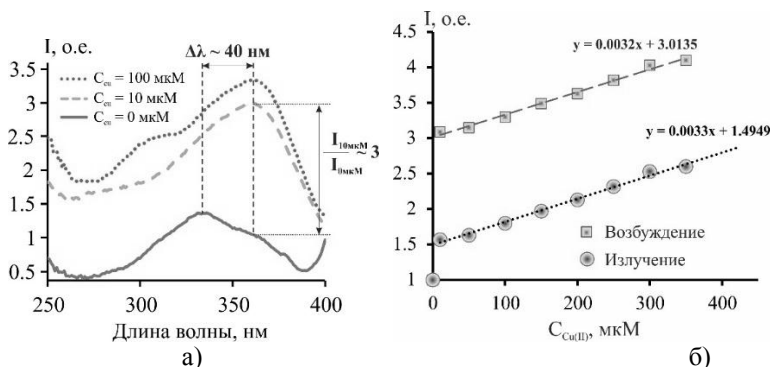


Рисунок 2. (а) изменение спектра возбуждения люминесценции хемочувствительной структуры в присутствии аналита; (б) величина сенсорного отклика хемочувствительных покрытий при различных способах регистрации параметров люминесценции

Известна проблема ухудшения характеристик оптических сенсоров при длительном воздействии лазерного излучения [5, с. 318], возникающего вследствие деградации индикатора. Нами предложено использование коротких лазерных импульсов, с одной стороны, уменьшающих тепловое воздействие на люминофор, предотвращая его деградацию, а с другой – позволяющих определить время жизни люминесценции хемочувствительных структур.

Проведенные исследования показали, что в присутствии ионов меди с концентрацией 0,01 мг/л происходит уменьшение времени жизни люминесценции хемосенсорных структур с 430 нс до 150 нс (рис.3). При этом функция затухания люминесценции структур в исходном состоянии близка к экспоненциальной, а в присутствии аналита у нее появляется два линейных участка с точкой перегиба в районе 30 нс.

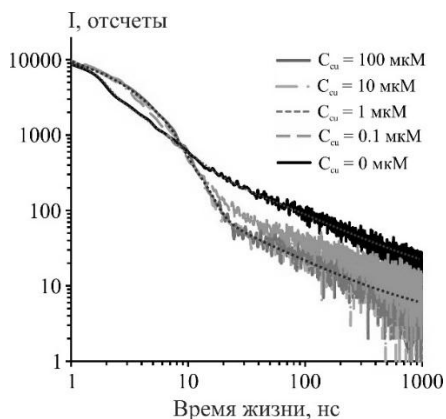


Рисунок 3. Изменение времени жизни люминесценции хемочувствительных структур в присутствии 100 мкМ ионов меди

Кроме того, спустя 15 нс после возбуждающего импульса, происходит увеличение интенсивности люминесценции в присутствии аналита по отношению к базовому значению. Обнаруженные изменения характеристик времени жизни люминесценции в присутствии ионов меди могут быть использованы для увеличения селективности полученных хемосенсорных структур. Поскольку время жизни люминесценции является одной из основных характеристик вещества, зависящей от его химического состава, а образование люминесцирующего димера люмокупферона происходит только в

присутствии ионов меди, измерение времени жизни люминесценции на различных временных отрезках после возбуждающего импульса является хорошим методом для селективного определения меди (рисунок 4). При этом, предложенный метод позволяет детектировать наличие ионов меди в анализируемом растворе даже в присутствии таких ионов как Fe^{2+} , Pb^{2+} и Al^{3+} , зашумляющих сенсорный отклик люмокупферона [1, с.129].

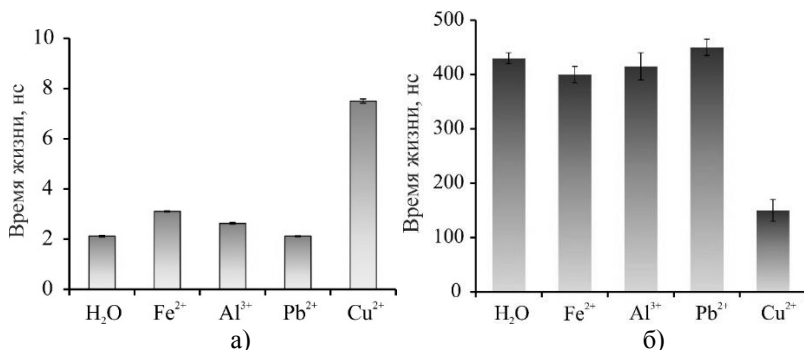


Рисунок 4. Значения времени жизни люминесценции хемочувствительного покрытия на различных временных промежутках: а) 0-10 нс; б) 10-450 нс.

Таким образом, можно выделить как минимум три ключевых фактора при анализе графика времени жизни люминесценции чувствительного покрытия, которые могут служить в качестве дополнительных информативных параметров при регистрации сенсорного отклика: значение времени жизни люминесценции, характер кривой затухания, интенсивность люминесценции в течение примерно 15 нс и 450 нс после возбуждающего импульса.

Полученные результаты исследования изменения в присутствии ионов меди спектральных характеристик люминесценции хемочувствительных структур, образованных из тонкой пленки хитозана, модифицированной люмокупфероном, позволяют выделить нескольких основных характеристик в качестве информативных параметров при регистрации сенсорного отклика. К ним можно отнести интегральную интенсивность люминесценции и спектральное положение ее максимума, совокупность которых обеспечивает проведение как качественного, так и количественного определения концентрации ионов меди в водных растворах. Такие характеристики, как значение времени жизни люминесценции и характер кривой

затухания относительно базовой, могут обеспечивать повышение чувствительности, избирательности и надежности измерительной системы, даже в присутствии ионов металлов, традиционно считавшихся зашумляющими сенсорный отклик.

Список литературы:

1. Божевольнов Е.А. Успех илюминесцентного анализа неорганических веществ // Ж. ВХО им. Д.И. Менделеева. 1964, Т. 9.
2. Prodi L., Bolletta F., Montalti M., Zaccheroni N. Luminescent chemosensors for transition metal ions. *Coordination Chemistry Reviews*. – 2000, Т. 205.
3. Prodi L. Luminescent chemosensors: from molecules to nanoparticles. *New journal of chemistry*. 2005, Т. 29.
4. Liu Z., He W., Guo Z. Metal coordination in photoluminescent sensing. *Chemical Society Reviews*. 2013, Т. 42.
5. Ruiz A. M., Illa X., Diaz R., Romano-Rodriguez A., Morante J.R. Analyses of the ammonia response of integrated gas sensors working in pulsed mode. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2006, Т. 118.

3.2. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР, АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ПОДБОР ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОР НА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛИСТИРОЛА

Смирнов Андрей Владимирович

*ассистент, Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
РФ, Саратов*

CHOOSING AN EFFECTIVE METHOD OF PORES FORMATION ON THE SURFACE OF POLYSTYRENE THIN FILMS

Andrei Smirnov

*assistant, Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky,
Russia, Saratov*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по
грантам Президента РФ (СП-677.2015.4)*

Аннотация. В работе представлены результаты исследования морфологии поверхности тонких плёнок полистирола, модифицированных в плазмевысокочастотного магнетронного разряда аргона, смеси аргона и кислорода с помощью источника ионов на основе торцевогоголового ускорителя. Показано, что наиболее перспективным методом для формирования открытых пор на поверхности плёнок полистирола является обработка в плазме аргона.

Abstract. The results of the study of surface morphology of polystyrene thin films, modified by RF magnetronplasma discharge of argon, a mixture of argon/oxygen and using an end-Hall ion source. It is shown that the most promising method for the formation of open pores on the surface of the polystyrene film is etched by argon plasma.

Ключевые слова: плазменная обработка, модификация поверхности, полимерные тонкие пленки, полистирол.

Keywords: plasma treatment, surface modification, polymer thin films, polystyrene.

Введение. Полимерные тонкие плёнки широко распространены как в промышленности, так и в области медицины, нано-, био- и мембранных технологиях[2,3,6]. Недостаточная поверхностная энергия и адсорбционная способность вносит некоторые ограничения в область применения данных плёнок[5]. Одним из эффективных способов управления адсорбционной способностью является обработка поверхности в плазме[1,4].

Методика эксперимента. Тонкие плёнки полистирола получались методом центрифугирования. Скорость вращения подложки: 1500 об/мин. В качестве подложек использовались полированные пластины монокристаллического кремния размером 10x10 мм. Нанесение раствора полистирола в четырёххлористом углероде (соотношение смеси $\text{CCl}_4:\text{ПС}=96:4$) на вращающуюся подложку происходило в герметичной камере в атмосфере насыщенных паров растворителя. Толщина полученных плёнок оценивалась по сколу образца при его наблюдении методом сканирующей электронной микроскопии и составила 160 ± 20 нм. Модификация поверхности тонких плёнок полистирола осуществлялась в камере вакуумной установки Ogion-40T(VTC, Южная Корея). Пластины с нанесенной пленкой полистирола располагались на мишени магнетрона в зоне эрозии.

Обработка в плазме осуществлялась при следующих режимах:

1) Рабочий газ: аргон, расход: 100 мл/мин, мощность разряда: 100 Вт, рабочее давление в камере: $1,9 \times 10^{-3}$ мбар, предварительная откачка до 5×10^{-7} мбар. Время обработки: 40 секунд.

2) Рабочий/реакционный газ: аргон/кислород, расход: 80/20 мл/мин, мощность разряда: 100 Вт, рабочее давление в камере: 9×10^{-4} мбар, предварительная откачка до 5×10^{-7} мбар. Время обработки: 5 секунд.

Также использовался ионный источник ISP 301 А, напряжение на аноде составляло 140 В ток – 1,53 А, расход аргона – 15 мл/мин – время обработки 60 секунд.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлено СЭМ изображение поверхности плёнки полистирола обработанной в смеси аргон /кислород в соотношении а) 90/10, б) 80/20 мл/мин соответственно. Из рисунка видно, что поверхность плёнки в обоих случаях покрыта неглубокими порами со средним размером 43 ± 3 нм.

Плотность пор для соотношения газов 90/10 составляет 33 шт/мкм², при увеличении содержания кислорода в общем потоке до 20 % увеличивается до 73 шт/мкм². При дальнейшем увеличении содержания кислорода в общем потоке плёнка полностью стравливается менее чем за 10 секунд обработки.

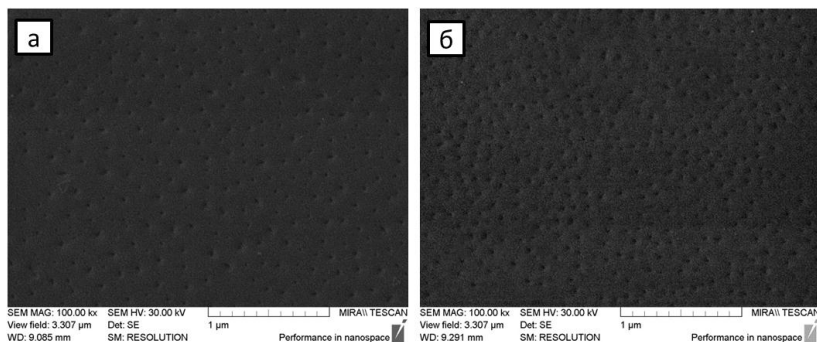


Рисунок 1. СЭМ изображение поверхности плёнки полистирола обработанной в смеси аргон/кислород в соотношении а) 90/10, б) 80/20 мл/мин. соответственно

На рисунке 2 представлена микрофотография поверхности плёнки полистирола после обработки пучком ионов аргона. Поверхность представлена доменами со средним размером 20 ± 5 нм. Открытые поры на поверхности отсутствуют.

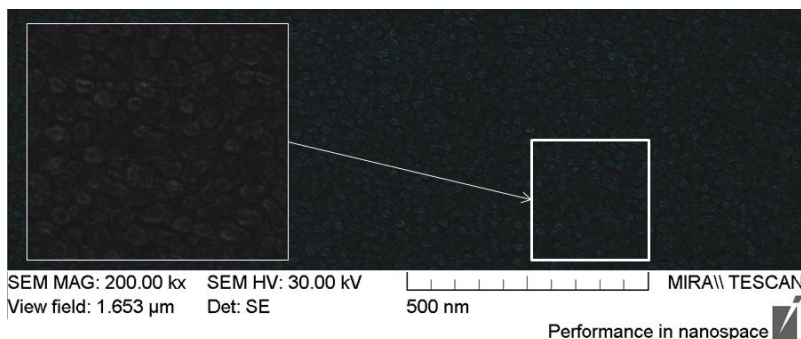


Рисунок 2. СЭМ изображение поверхности плёнки полистирола после обработки с помощью ионного источника

На рисунке 3 представлено СЭМ изображение поверхности образца плёнки полистирола после обработке в плазме ВЧ магнетронного разряда. СЭМ изображение позволяет детально рассмотреть структуру поверхности. Поверхность обработанной плёнки представлена частицами неправильной формы организованными в кластеры. На поверхности наблюдается наличие пор неправильной формы. Размер пор (ширина и глубина) варьируется в широком диапазоне от 20 до 300 нм.

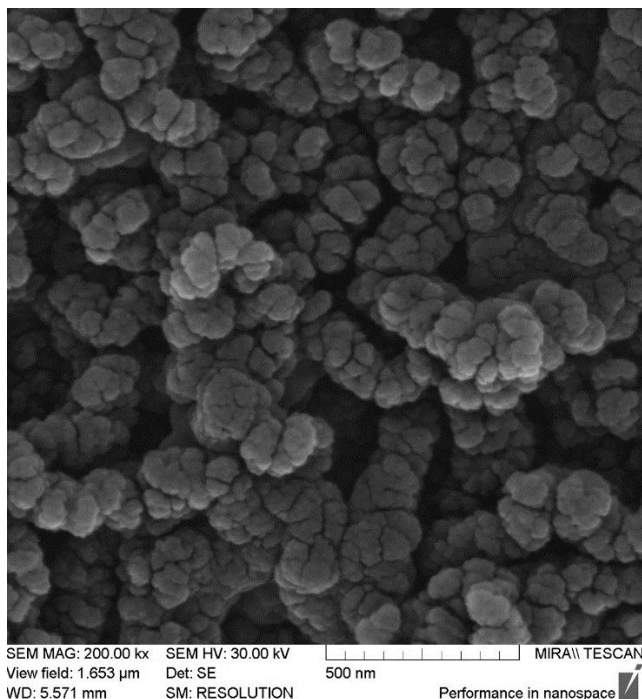


Рисунок 3. СЭМ-изображения поверхности тонких плёнок полистирола после обработки в плазме ВЧ разряда аргона

Таким образом, среди рассматриваемых вариантов обработки поверхности, наиболее перспективной для формирования на поверхности открытых пор является обработка пленки полистирола в плазмамагнетронного ВЧ разряда аргона. Развитая поверхность делает подобные материалы перспективными с точки зрения использования их в качестве мембран в биосенсорных технологиях. Полученная

пористая поверхность хорошо подходит для иммобилизации бактериофагов, размер которых варьируется в диапазоне 20-200 нм в зависимости от штамма.

Список литературы:

1. Смирнов А.В., Синёв И.В. Капсулирование микрочастиц вольфрама в полистирол // Тезисы докладов международной научно-технической конференции — Гомель: ИММС НАНБ, 2015. С. 172
2. Шереметьев С.В., Штейнберг Е.М. Использование функциональных полимеров в медицине. – Казань: СибАК, 2012. –145 с.
3. Flamm D. L., Auciello O. Plasma deposition, treatment, and etching of polymers: the treatment and etching of polymers. – Elsevier, 2012. – 544 p.
4. Osada Y., De Rossi D.E.(ed.). Polymer sensors and actuators.–Springer Science&Business Media, 2013. – 420 p
5. Paul Kah, Raimo Suoranta, Jukka Martikainen, Carl Magnus. Techniques for joining dissimilar materials: metals and polymers // Rev.Adv.Mater.Sci. – 2014(36), 152-164
6. Tsui O. K. C. Polymer thin films. – World Scientific, 2008, Т. 1. – 301 p.
Osada Y., De Rossi D. E. (ed.). Polymer sensors and actuators. – Springer Science & Business Media, 2013. – 420 p.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам I международной заочной
научно-практической конференции*

№ 1 (1)
Декабрь 2016 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 15.12.16. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 6,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru

ISBN - 978-5-00021-088-8



9 785000 210888