



# **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

*Сборник статей по материалам  
XXXVIII международной научно-практической  
конференции*

№ 9 (34)  
Сентябрь 2014 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2014

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

**Ахметов Сайранбек Махсutowич** — д-р техн. наук, проф., ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем (КазУИТС), академик РАЕН, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК, директор Представительства Казахской академии экологии и безопасности жизнедеятельности» в г. Уральск.

Редакционная коллегия:

**Ахмеднабиев Расул Магомедович** — канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

**Барштейн Виктор Юрьевич** — канд. тех. наук, ст. науч. сотр., заведующий лабораторией Государственного учреждения «Институт пищевой биотехнологии и геномики Национальной академии наук Украины» (ИПБГ НАН Украины).

**Елисеев Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

**Копылов Алексей Филиппович** — канд. техн. наук, доц. кафедры Радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета;

**Романова Алла Александровна** — канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной физики Санкт-Петербургского государственного экономического университета.

**Т 38 Технические науки — от теории к практике / Сб. ст. по материалам XXXVIII междунар. науч.-практ. конф. № 9 (34). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. 140 с.**

Учредитель: НП «СибАК»

Сборник статей «Технические науки — от теории к практике» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>6</b>
ПОВЕРХНОСТНЫЙ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ Данг Нгок Хоанг Тхань Фан Зуй Тунг	6
ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ Данг Нгок Хоанг Тхань Фан Зуй Тунг	15
<b>Секция 2. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>20</b>
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ANPQP Махалин Александр Александрович	20
<b>Секция 3. Энергетика и энергетические техника и технологии</b>	<b>26</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ТОПЛИВАХ РАЗЛИЧНОГО СТРУКТУРНОГО СОСТАВА Заблоцкий Юрий Викторович	26
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПЛАВАЮЩЕЙ КОРКИ И ОСАДКА В МЕТАНТЕНКЕ Караева Юлия Викторовна	33
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА ГТУ Неволин Александр Михайлович Плотников Петр Николаевич	38
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ Сагин Сергей Викторович	46

ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТЫХ ТОПЛИВ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ Солодовников Валерий Григорьевич	55
<b>Секция 4. Материаловедение и металлургическое оборудование и технологии</b>	<b>62</b>
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ Нечаева Светлана Александровна Долгова Елена Юрьевна	62
<b>Секция 5. Транспорт и связь, кораблестроение</b>	<b>68</b>
ПОСТРОЕНИЕ ИНДЕКСА ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОЦЕССА Босов Аркадий Аркадиевич Лоза Петр Алексеевич	68
<b>Секция 6. Аэрокосмическая техника и технологии</b>	<b>79</b>
БИФУРКАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЗОН Кузьмин Александр Григорьевич Матюхина Ирина Анатольевна	79
<b>Секция 7. Строительство и архитектура</b>	<b>85</b>
К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВ В КАЧЕСТВЕ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ В ФИБРОАРМИРОВАННЫХ БЕТОНАХ Ахмеднабиев Расул Магомедович Ахмеднабиев Расул Расулович	85
<b>Секция 8. Сельское и лесное хозяйство, агроинженерные системы</b>	<b>93</b>
ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЗА СЧЕТ НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ Высочкина Любовь Игоревна Высочкина Татьяна Николаевна	93

<b>Секция 9. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>100</b>
СУБПРОДУКТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ НОВЫХ ВИДОВ КОНСЕРВОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ Ковалева Ольга Александровна Шульгина Лидия Васильевна	100
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ МУКИ Мысаков Денис Сергеевич Крюкова Екатерина Владимировна Чугунова Ольга Викторовна	105
<b>Секция 10. Приборостроение, метрология, радиотехника</b>	<b>111</b>
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ Зубиков Дмитрий Валерьевич Мощенский Юрий Васильевич	111
<b>Секция 11. Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология</b>	<b>122</b>
ФАКТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ Чернышева Юлия Станиславовна Поваляева Виктория Александровна	122
<b>Секция 12. Организация производства и менеджмент, системы управления качеством</b>	<b>128</b>
МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОГО ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА Колесникова Ольга Валерьевна Лелюхин Владимир Егорович	128

## СЕКЦИЯ 1.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### ПОВЕРХНОСТНЫЙ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

*Данг Нгок Хоанг Тхань*

*аспирант Тульского государственного университета,  
РФ, г. Тула*

*Email: [myhoangthanh@yahoo.com](mailto:myhoangthanh@yahoo.com)*

*Фан Зуй Тунг*

*магистрант Тульского государственного университета,  
РФ, г. Тула*

*Email: [tungphanduy@vinhuni.edu.vn](mailto:tungphanduy@vinhuni.edu.vn)*

#### A SURFACE INTERPOLATION METHOD BASED ON LEAST SQUARE PRINCIPLE

*Dang Ngoc Hoang Thanh*

*postgraduate student of Tula State University,  
Russia, Tula*

*Phan Duy Tung*

*graduate student of Tula State University,  
Russia, Tula*

#### АННОТАЦИЯ

В работе приведён метод для построения поверхностной интерполяционной функции для аппроксимации заданных данных. Предлагаемый метод основан на принципе наименьших квадратов.

## ABSTRACT

In this paper we introduce a surface interpolation method to approximate given data. This method based on least square principle.

**Ключевые слова:** Принцип (метод) наименьших квадратов; поверхностный интерполяционный метод; трёхмерный компьютерный график.

**Keywords:** Least square principle; surface interpolation; 3D graphics.

Задача реконструкции поверхностей объектов является важной задачей в компьютерном графике и имеет широкие приложения в других научно-технических сферах. Особенно в археологии, обнаруженные детали всегда содержат дефекты поэтому нужна реконструкция их поверхностей. Такая задача широко изучена многими учеными, о которых говорится в [11, 8, 14, 2]. Однако, целью этой работы является реконструкция поверхности методом построения аналитической функции. Рассматриваемая задача более простая, чем вышеуказанная задача.

По принципу, для построения интерполяционной функции, надо определить связь между переменными с помощью заданных данных. Пусть в Декартовой системе координата  $Oxyz$ , заданы наборы

$$\{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_N, y_N, z_N)\}$$

где:  $N$  — натуральное число.

Надо найти функцию двух переменных  $f(x, y)$

$$\mathbb{R}^2 \ni (x, y) \rightarrow f(x, y) \in \mathbb{R}$$

и такую, что

$$f(x_1, y_1) = z_1, f(x_2, y_2) = z_2, \dots, f(x_N, y_N) = z_N.$$

Для нахождения такой функции, используется подход наименьших квадратов [14, 2, 16, 6]. Наборы данных  $(x_i, y_i, z_i); i = \overline{1, N}$  определяются с помощью измерительных приборов. Пусть наборы данных выполняют какое-то правило, например  $z_i = \mathcal{F}(x_i, y_i)$ , где  $\mathcal{F}$  называется законом распределения данных.

Функция  $f$  может быть определена с помощью интерполяции бикубического сплайна [5, 7, 15, 13]. Интерполяция бикубического сплайна имеет высокую точность, но её скорость выполнения

недостаточно быстрая. Главной идеей работы является построение поверхностной интерполяционной функции на основе принципа наименьших квадратов, у которой отклонение с начальными данными выполняет следующий критерий:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_i - f(x_i, y_i))^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Принцип наименьших квадратов применяется для решения граничных задач, обработки данных в статистике и т. д. Данный метод имеет высокую точность и высокую скорость вычисления. В этой работе построим поверхностный интерполяционный метод в трёхмерном пространстве на его основе.

### **Поверхностный интерполяционный метод**

Пусть заданы наборы данных  $(x_i, y_i, z_i); i = \overline{1, N}$ . Для построения поверхностной интерполяционной функции, надо выбрать базис функций. Предлагается два следующего базиса функций:

*(1) Полиномиальный базис функций и пробуемая функция*

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} a_{ij} x^i y^j$$

*(2) Тригонометрический базис функций и пробуемая функция*

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} a_{ij}^{(0)} \cos(a_{ij}^{(1)} x) \sin(a_{ij}^{(2)} y), \{a_{ij}\} \\ &= \{a_{ij}^{(0)}\} \cup \{a_{ij}^{(1)}\} \cup \{a_{ij}^{(2)}\} \end{aligned}$$

где  $N_1, N_2$  — натуральные числа. В функции  $f(x, y)$  содержатся параметры  $a_{ij}, i = \overline{0, N_1}, j = \overline{0, N_2}$ . Без ограничения общности, запишем  $f(x, y) = f(x, y, a_{00}, a_{01}, \dots, a_{N_1 N_2})$ . Согласно критерию (1), построим следующий функционал энергии:

$$E(a_{00}, a_{01}, \dots, a_{N_1 N_2}) = \sum_{i=1}^N (z_i - f(x_i, y_i, a_{00}, a_{01}, \dots, a_{N_1 N_2}))^2 \quad (2)$$



Надо найти параметры  $a_{ij}, i = \overline{0, N_1}, j = \overline{0, N_2}$  для того чтобы функционал  $E$  достигла минимума. Один из известных методов — метод градиента спуска. Основой данного метода является нахождение стационарных точек. Стационарные точки определяются с помощью решения следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial E}{\partial a_{00}} = 0, \frac{\partial E}{\partial a_{01}} = 0, \dots, \frac{\partial E}{\partial a_{N_1 N_2}} = 0 \quad (3)$$

Существует много методов для решения системы уравнений (3). Одним из эффективных методов является метод Ньютона [1]. С помощью рассмотрения знаков частных производных 2-ого порядка на стационарных точках, можем определить с какими значениями параметров  $a_{ij}, i = \overline{0, N_1}, j = \overline{0, N_2}$  функционал энергии достигает минимума. Используя метод градиента спуска, существуют достоинства:

- Для пробуемых функций более 2-ух параметров, трудно определить какие стационарные точки являются минимумом.
- Итерационные методы (включая метод Ньютона) могут не сходиться.

В вычислительной математике, существует несколько методов, которые позволяют найти минимум функционала энергии как метод Нелдера-Мида [3, 4, 9, 10, 12]. Такой метод эффективен для решения задачи безусловной оптимизации функций с большим количеством переменных. Метод Нелдера-Мида состоит из двух этапов:

**Начальный этап.** Выбрать точки  $a_{00}, a_{01} \dots, a_{N_1 N_2}$  образующие симплекс, коэффициент растяжения  $\gamma > 1$ , коэффициент сжатия  $\beta > 1$  и коэффициент отражения  $\alpha > 0$ . Перейти к основному этапу.

**Основной этап.**

*Шаг 1.* Положить  $a_{rt}, a_{sp} \in \{a_{00}, a_{01} \dots, a_{N_1 N_2}\}$  такими, что

$$E(a_{rt}) = \min_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2}} E(a_{ij}), E(a_{sp}) = \max_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2}} E(a_{ij})$$

Положить  $\bar{a} = \frac{1}{(N_1+1)(N_2+1)-1} \sum_{i \neq s \text{ и } j \neq p} a_{ij}$  и перейти к шагу 2.

*Шаг 2.* Положить  $\hat{a} = \bar{a} + \alpha(\bar{a} - a_{sp})$ . Если  $E(a_{rt}) > E(\hat{x})$ , то положить  $a_{00} = \bar{a} + \gamma(\hat{a} - \bar{a})$  и перейти к шагу 3. В противном случае перейти к шагу 4.

*Шаг 3.* Точку  $a_{sp}$  заменить на  $x_{00}$ , если  $E(\hat{a}) > E(a_{00})$ , и на  $\hat{a}$ , если  $E(\hat{a}) \leq E(a_{00})$ , что даёт новое множество из  $(N_1 + 1)(N_2 + 1)$  точек. Перейти к шагу 1.

*Шаг 4.* Если  $\max_{\substack{0 \leq i < N_1 \\ 0 \leq j < N_2}} \{E(a_{ij}) : i \neq s \text{ u } j \neq p\} \geq E(\hat{a})$ , то  $a_{sp}$  заменить на  $\hat{a}$ , получить новое множество из  $(N_1 + 1)(N_2 + 1)$  точек и перейти к шагу 5.

*Шаг 5.* Взять  $a'$ , для которого  $f(a') = \min\{E(\hat{a}), E(a_{sp})\}$ , и положить  $a'' = \bar{a} + \beta(a' - \bar{a})$ . Если  $E(a'') > E(a')$ , то заменить  $a_{ij}$  на  $a_{ij} + \frac{1}{2}(x_{rt} - x_{ij})$  для  $i = \overline{0, N_1}, j = \overline{0, N_2}$  и перейти к шагу 1. Если  $E(a'') \leq E(a')$ , то заменить  $a_{sp}$  на  $a''$ , получить новое множество из  $(N_1 + 1)(N_2 + 1)$  точек и перейти к шагу 1.

### Погрешность метода

Пусть эвристические значения по  $x$  и  $y$  определяются по следующими:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

И соответствующие отклонения:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

Либо

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

Отклонение интерполяционной функции:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f(x_i, y_i) - \bar{z})^2}, \quad \text{где } \bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (4)$$

Средняя погрешность в узлах интерполяции:

$$\epsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |f(x_i, y_i) - z_i|$$

Критерий (4) позволяет оценить погрешность метода. Скорость сходимости метода зависит от скорости сходимости метода Ньютона либо метода Нелдера-Мида.

**Алгоритм решения**

*Шаг 1.* Подбор базиса функций и построение пробуемой функции  $f$ .

*Шаг 2.* Построение функционала энергии (2).

*Шаг 3.* Нахождение условий для того чтобы функционал (2) достиг минимума.

+ Если функционал энергии содержит не более 2-ух параметров: Решение системы уравнений (3) с помощью метода Ньютона для нахождения стационарных точек. Рассмотрение знаков частных производных 2-ого порядка в стационарных точках для нахождения значений параметров  $a_{ij}, i = \overline{0, N_1}, j = \overline{0, N_2}$ , с которыми функционал энергии (2) достигает минимума.

+ Если функционал энергии содержит более 2-ух параметров: Нахождение минимума функционала (2) с помощью метода Нелдера-Мида.

**Пример.** Заданы наборы данных

$(x_i, y_i)$	(1, 1)	(1, 2)
$z_i = \mathcal{F}(x_i, y_i)$	-1	0

Найти поверхность интерполяционную функцию предлагаемым методом.

Пробуемая функция  $f$  выбирается по следующему правилу:

$$f(x, y) = ax + by$$

Функционал энергии определяется по (2) и получается:

$$E(a, b) = 2a^2 + 5b^2 + 6ab + 2a + 2b + 1$$

Для нахождения параметров  $a, b$  надо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial a} = 4a + 6b + 2 = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial b} = 6a + 10b + 2 = 0 \end{cases}$$

И получается  $a = -2, b = 1$ . Видим, что

$$A = \frac{\partial^2 E}{\partial a^2}(-2, 1) = 4; B = \frac{\partial}{\partial a} \left( \frac{\partial E}{\partial b} \right) (-2, 1) = 6; C = \frac{\partial^2 E}{\partial b^2}(-2, 1) = 10;$$

$$D = AC - B^2 = 4 > 0$$

Следовательно, точка  $(2, -1)$  минимум. Поверхностная интерполяционная функция имеет вид:  $f(x, y) = -2x + y$

Эвристические значения по  $x$  и  $y$ :  $\bar{x} = 1, \bar{y} = 3/2$ .

И соответствующие отклонения:  $\sigma_x = 0, \sigma_y = 1/2$ .

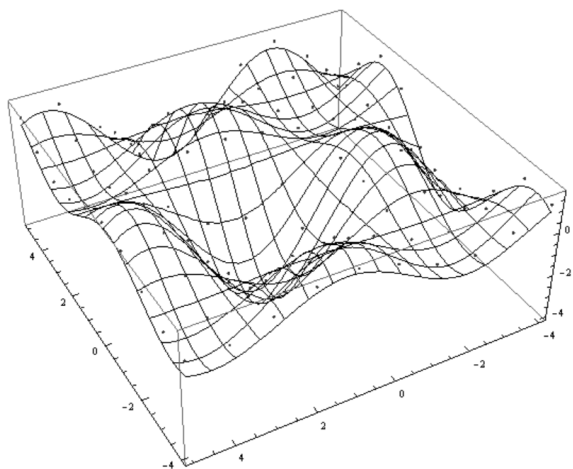
Отклонение поверхностной интерполяционной функции и средняя погрешность в узлах интерполяции:  $\sigma_f = 0, \epsilon = 0$ .

#### **Экспериментальные результаты**

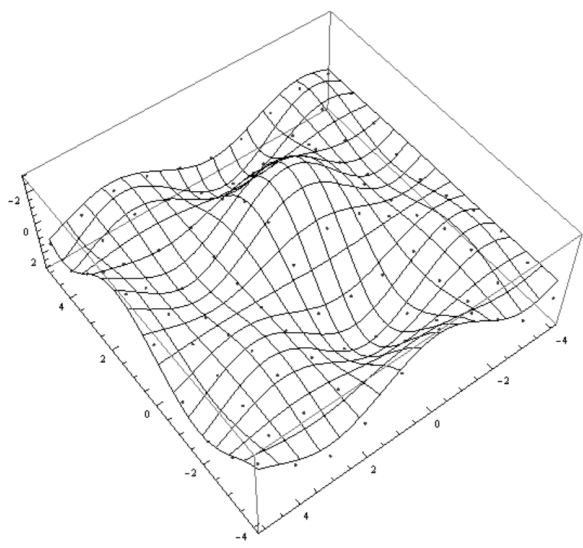
В нашей программе выбранные наборы данных выполняют правило  $\sin(x_i) - \cos(y_i) + 2 \sin(x_i) \cos(y_i)$ .

Графики данных (точечный вид) и интерполяционной функции (сеточный вид) при случае полиномиального базиса показаны на (рис. 1); а тригонометрического базиса показаны на (рис. 2).

Из полученных результатов видим, что точность результата аппроксимации зависит от схожести закона распределения данных и выбранного базиса функций. Если задано достаточно большое количество базисных функций, результат будет лучше.



**Рисунок 1. Полиномиальный базис функций ( $N_1 = N_2 = 10$ ,  
 $N = 100$ ,  $\sigma_f = 0.42154$ ,  $\epsilon = 0.373263$ )**



**Рисунок 2. Тригонометрический базис функций ( $N_1 = N_2 = 10$ ,  
 $N = 100$ ,  $\sigma_f = 0.726381$ ,  $\epsilon = 0.599088$ )**

## **Заключение**

В этой работе предлагается метод интерполяции на основе принципа наименьших квадратов. Преимущество предлагаемого метода — простое выполнение, высокая точность (зависит от базиса функций), быстрая скорость выполнения зависит от скорости выполнения выбранного итерационного метода (как метод Ньютона), либо метода Нелдера-Мида. Достоинство нашего метода — из заданных данных, нам надо выбрать базис функций и пробуемую функцию такие, что они имеют одинаковый закон распределения с данными. В случае неправильного выбора базиса функций, поверхностная интерполяционная функция может быть не найдена (минимум функционала энергии не существует) либо погрешность большая.

## **Список литературы:**

1. Самарский А.А., Гулин А.Б. Численные методы // Физико-математической-литературы, С. 190—207, 1989.
2. Gruen A., D. Akca. Least squares 3D surface matching // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, — Vol. 59, — P. 151—174, — 2005.
3. Burmen A., Puhan J., Tuma T. Grid restrained Nelder–Mead algorithm // Computational Optimization and Applications 34 (2006), 359—375.
4. Conn A.R., Scheinberg K., Vicente L.N. Introduction to Derivative-Free Optimization // SIAM, Philadelphia, 2009.
5. Greiner G., H.P. Seidel. Modeling with triangular B-splines // IEEE Computer Graphics and Applications, 14(2):56–60, Mar. 1994.
6. Smyth G.K.. Nonlinear regression // Encyclopedia of Environmetrics, — Vol. 3, — P. 1405—1411, — 2002.
7. Prautzsch H., W. Boehm, M. Paluszny. Bezier and BSpline Techniques // Springer Verlag, October 2002.
8. Fuchs H., Z.M. Kedem, S.P. Usetlon. Optimal surface reconstruction from planar contours // Magazine Communications of the ACM, — Vol. 20, — P. 693—702, — 1977.
9. Han L., Neumann M. Effect of dimensionality on the Nelder–Mead simplex method // Optimization Methods and Software 21 (2006), 1—16.
10. Hensley D., Smith P., Woods D. Simplex distortions in Nelder–Mead reflections // IMSL Technical Report Series № 8801, IMSL, Inc., Houston, Texas (1988).
11. Hoppe H., T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, W. Stuetzle. Surface reconstruction from unorganized points // Proceeding SIGGRAPH, — Vol. 92, — P. 71—78, — 1992.

12. Kelley C.T. Detection and remediation of stagnation in the Nelder–Mead algorithm using a sufficient decrease condition // SIAM Journal on Optimization 10 (1999), 43—55.
13. Franssen M., R.C. Veltkamp, W. Wesselink. Efficient evaluation of triangular B-spline surfaces // Computer Aided Geometric Design, 17:863—877, 2000.
14. Kazhdan M., M. Bolitho, H.Hoppe. Poisson surface reconstruction // Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2006.
15. Fong P., H.P.P. Seidel. Control points for multivariate B-spline surfaces over arbitrary triangulations // Computer Graphics Forum, 10(4):309—317, 1991.
16. Miller S.J.. The method of least squares // Web William, Brown University, Providence, RI 02912, 2012.

## **ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

***Данг Нгок Хоанг Тхань***

*аспирант Тульского государственного университета,  
РФ, г. Тула*

*Email: [myhoangthanh@yahoo.com](mailto:myhoangthanh@yahoo.com)*

***Фан Зуи Тунг***

*магистрант Тульского государственного университета,  
РФ, г. Тула*

*Email: [tungphanduy@vinhuni.edu.vn](mailto:tungphanduy@vinhuni.edu.vn)*

## **A VARIATIONAL METHOD TO REMOVE NOISE ON IMAGE**

***Dang Ngoc Hoang Thanh***

*postgraduate student of Tula State University,  
Russia, Tula*

***Phan Duy Tung***

*graduate student of Tula State University,  
Russia, Tula*

## АННОТАЦИЯ

В работе предложен метод для подавления шума на изображениях на основе вариационного подхода. Согласно предлагаемому методу построен алгоритм для подавления шума на изображениях.

## ABSTRACT

In this paper we introduce the method to remove noise on digital image. This method based on variational approach. In the result, we built the denoising algorithm.

**Ключевые слова:** подавление шума; цифровое изображение; полная вариация; уравнение Эйлера-Лагранжа.

**Keywords:** denoising; digital image; total variation; equation Euler-Lagrange.

Задача подавления шума является важной и имеет большое применение в технике и других сферах. Подавление шума поможет повышению качества изображений и качества алгоритмов обработки изображений, например, алгоритмов распознавания.

Большинство изображений содержит гауссовский шум. Поэтому построено много алгоритмов для подавления гауссовского шума. В этой статье мы предлагаем метод на основе вариационного подхода. Рудин (Rudin) [3] является первым ученым, предлагающим использовать полную вариацию [2] для решения задач обработки изображения.

В пространстве  $\mathbb{R}^2$  задана ограниченная область  $\Omega$  и набор  $(x, y) \in \Omega$ . Пусть  $u: \Omega \rightarrow \mathbb{R}, v: \Omega \rightarrow \mathbb{R}, \eta: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  являются гладкими функциями двух переменных. Задача подавления шума может представить в виде:

$$v(x, y) = u(x, y) + \eta(x, y),$$

где:  $u(x, y)$  — функция оригинального изображения,  
 $v(x, y)$  — функция зашумлённого изображения,  
 $\eta(x, y)$  — функция шума.

Пусть шум на изображении не изменяется и

$$\sigma^2 = \int_{\Omega} (v - u)^2 dx dy. \quad (1)$$



Идеей подавления шума на изображении является минимизация следующего функционала энергией функции  $u$ :

$$\arg \min_u \int_{\Omega} \psi(\|\nabla u\|^2) dx dy, \quad (2)$$

где  $\nabla u = (u_x, u_y)$ ,  $u_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ ,  $u_y = \frac{\partial u}{\partial y}$ ,  $\psi$  – штрафная функция [1].

Задача (2) с условием (1) можно представить в виде задачи оптимизации без условий:

$$\arg \min_u \int_{\Omega} \psi(\|\nabla u\|^2) dx dy + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (u - v)^2 dx dy, \quad (3)$$

где:  $\theta$  – ненулевой параметр.

Для подбора штрафной функции нужны современные математические инструменты, и это также имеет свои сложности. Существует несколько заданных штрафных функций, например, квадратичная, Шабониера (Chabonier) и т. д. В этой статье мы выберем квадратичную штрафную функцию. Квадратичная штрафная функция имеет вид:

$$\psi(s^2) = s^2, \text{ где } s \in \mathbb{R}.$$

Поэтому (3) станет:

$$\arg \min_u \int_{\Omega} \|\nabla u\| dx dy + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (u - v)^2 dx dy, \quad (3)$$

Мы можем считать, что норма в (3) является нормой в пространстве  $L_2$ . Это значит, что  $\|\nabla u\| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$ . Поэтому (3) переписывается в виде:

$$\arg \min_u \int_{\Omega} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (u - v)^2 dx dy, \quad (4)$$

### Алгоритм решения

Для решения задачи (4) мы используем уравнение Эйлера-Лагранжа. Уравнение Эйлера-Лагранжа задачи (4) имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{u_x}{u_x^2 + u_y^2} \right) - \theta(u - v) = 0,$$

или

$$\frac{u_{xx}u_y^2 - 2u_xu_yu_{xy} + u_x^2u_{yy}}{(u_x^2 + u_y^2)^{3/2}} - \theta(u - v) = 0. \quad (5)$$

Мы используем метод градиент спуска с шагом времени  $k$  для решения (5). Выражение для нахождения  $u$  в шаге  $k$  имеет вид:

$$u^{(k+1)} = u^{(k)} + \Delta t \left( \frac{u_{xx}u_y^2 - 2u_xu_yu_{xy} + u_x^2u_{yy}}{(u_x^2 + u_y^2)^{3/2}} \right)^{(k)} - \theta(u^{(k)} - v). \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} (u_x^{(k)})_{ij} &= \frac{u_{i+1,j}^{(k)} - u_{i-1,j}^{(k)}}{2\Delta x}, \quad (u_y^{(k)})_{ij} = \frac{u_{i,j+1}^{(k)} - u_{i,j-1}^{(k)}}{2\Delta y}, \\ (u_{xx}^{(k)})_{ij} &= \frac{u_{i+1,j}^{(k)} - 2u_{ij}^{(k)} + u_{i-1,j}^{(k)}}{(\Delta x)^2}, \quad (u_{yy}^{(k)})_{ij} = \frac{u_{i,j+1}^{(k)} - 2u_{ij}^{(k)} + u_{i,j-1}^{(k)}}{(\Delta y)^2}, \\ (u_{xy}^{(k)})_{ij} &= \frac{u_{i+1,j+1}^{(k)} - u_{i+1,j-1}^{(k)} - u_{i-1,j+1}^{(k)} + u_{i-1,j-1}^{(k)}}{4\Delta x\Delta y}; \quad i = 1, \dots, N_1, \\ & \quad j = 1, \dots, N_2; \quad k = 0, 1, \dots; \quad \Delta x = \Delta y = 1; \quad \Delta t = 0.2, \\ u_{0j}^{(k)} &= u_{1j}^{(k)}, \quad u_{N_1+1,j}^{(k)} = u_{N_1,j}^{(k)}, \quad u_{i0}^{(k)} = u_{i1}^{(k)}, \quad u_{i,N_2+1}^{(k)} = u_{i,N_2}^{(k)}, \end{aligned}$$

$N_1$  — число точек изображения по горизонтали,  $N_2$  — число точек изображения по вертикали.

При начальных условиях:

$$u_{ij}^0 = v_{ij}; \quad i = 1, \dots, N_1; \quad j = 1, \dots, N_2. \quad (7)$$

### Алгоритм подавления шума

*Шаг 0.* Заданы  $u_{ij}^0 = v_{ij}$  и значение  $\theta$ .

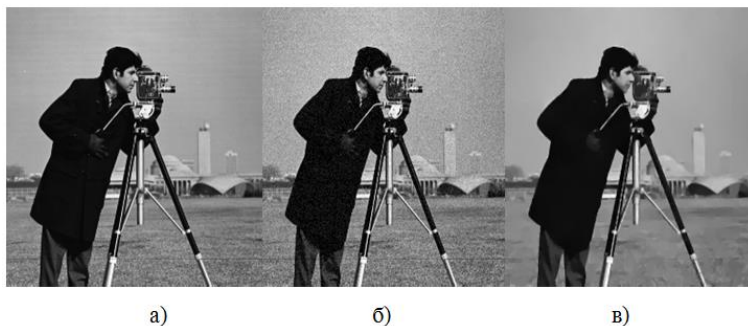
*Шаг k.*

- Вычислить  $u^{(k+1)}$  по формуле (6).
- Проверить  $|u^{(k+1)} - u^{(k)}| < \varepsilon$ .

- Если условие выполнено, стоп. При обратном случае, перейти на шаг  $k + 1$ .

### **Экспериментальные результаты**

В эксперименте мы используем изображение cameraman.tif и добавляем гауссовский шум со среднеквадратичным отклонением  $\sigma = 10$ .



**Рисунок 1. Подавление шума на изображении cameraman:**  
**а) Исходное изображение, б) Зашумлённое изображение PSNR=28,**  
**в) Подавление шума PSNR=32,  $\mu = 0.2$**

### **Заключение**

В этой работе предлагается метод подавления гауссовского шума. Предлагаемый метод построен на основе вариационного подхода. Результат подавления шума зависит от параметра  $\mu$  и свойств каждого изображения.

### **Список литературы:**

1. Жилинискас А., Шатлянис В. Поиск оптимума: компьютер расширяет возможности. М.: Наука, 1989. — 79 с.
2. Chan T.F., Shen J. Image processing and analysis: Variational, PDE, Wavelet, and stochastic methods. SIAM, 2005. — 400 p.
3. Rudin L.I., Osher S., Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms//Physica D. — 1992. — Vol. 60. — P. 259—268.

## СЕКЦИЯ 2.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ANPQP

*Махалин Александр Александрович*  
*главный инженер проекта*  
*ООО «Идеал-Пласт»,*  
*РФ, г. Тольятти*  
*E-mail: [aleksandr-makhalin@yandex.ru](mailto:aleksandr-makhalin@yandex.ru)*

#### ANPQP PROCEDURE APPLICATION PROBLEM

*Aleksandr Makhalin*  
*project chief engineer Ltd “Ideal-Plast”,*  
*Russia, Tolyatti*

#### АННОТАЦИЯ

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью рассматривать не только положительные стороны инженерных процедур по подготовке производства, но и проблемы, возникаемые в ходе работы. В статье рассмотрены проблемы на каждой фазе и проекта в целом.

#### ABSTRACT

Relevance of the chosen topic is determined by the necessity to take into account not only benefits of engineering procedures on preparation for the production but also problems occurring in the course of the work. The article considers problems at each stage as well as problems of the whole project.

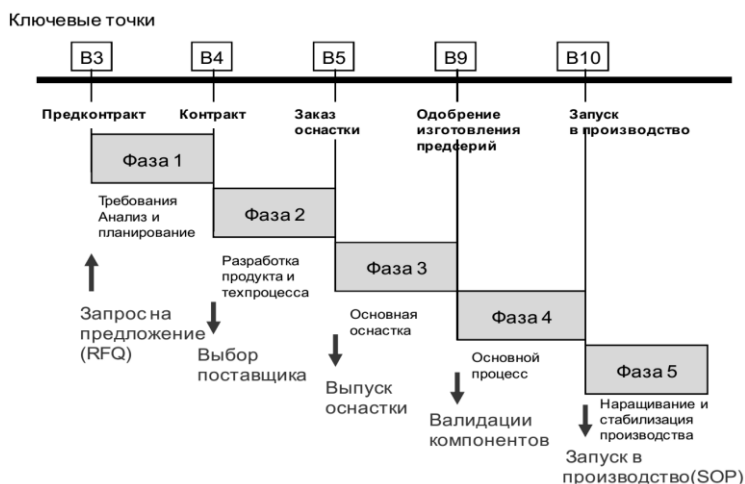
**Ключевые слова:** подготовка производства; проект; поставщик; предпроизводственный аудит; оснастка; фаза проекта; затраты; прототипирование; календарный план; PPAP; CAPRO; ANPQP.

**Keywords:** preparation for the production; project; supplier; pre-production audit; tooling; phase of a project; expenses; prototyping; time schedule; PPAP; CAPRO; ANPQP.

С 2012 года альянс АВТОВАЗ-Renault-Nissan стал активно применять процедуру ANPQP для совместной с поставщиком постановки новой продукции на производство, а также достижения наивысшего качества до начала ее производства. Официально ANPQP (Alliance New Product Quality Program) определяется как совместная процедура качества новой продукции. Ранее для этой цели применялась процедура РРАР для согласования и одобрения производства продукции.

Мы не будем подробно останавливаться на описании требований и правилах ведения проектов по процедуре ANPQP, а затронем только общие требования, так как в открытых источниках представлен большой объем информации на эту тему. Нашей целью будет рассмотреть проблемы возникаемые на каждой фазе и проекта в целом.

Процедура ANPQP состоит из пяти фаз. Между фазами и ключевыми вехами проекта существуют связи, показанные на рисунке.



*Рисунок 1. Фазы процедуры ANPQP*

### *Фаза 1*

Первой проблемой является частичное или полное отсутствие конструкторской документации для анализа требований заказчика. Это затрудняет проведение планирования подготовки производства и ведет за собой череду разногласий в ходе проекта. Так же нет возможности проработать конструкцию будущего изделия и процессы

производства. Стоит оговорить, что продолжительность проектов составляет от 4 месяцев до 3 лет.

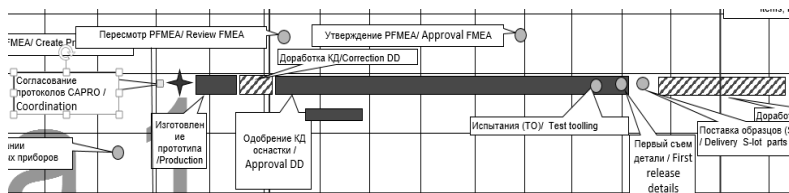
После передачи потенциальным поставщиком ответа на коммерческое предложение (RFQ), заказчик часто затягивается принятием решения. В связи с высокой неопределённостью, поставщик заполняет производственные мощности за счет других заказов и вынужден ответить отказом на запоздалое предложение. Эта ситуация влечет за собой проблемы подготовки уже на первом этапе и смещение сроков выпуска автомобиля.

### **Фаза 2**

На данном этапе поставщик обязан разработать документацию, которая охватывает основной объем требований процедуры.

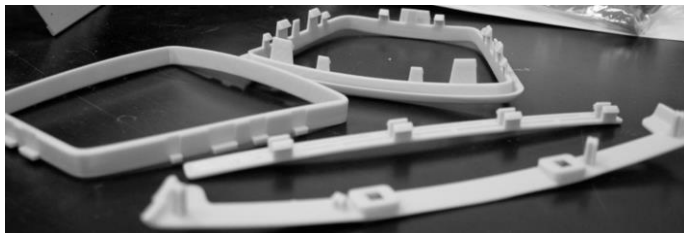
Вскоре после завершения 1 фазы, руководство проекта обеих компаний подписывает основной «Календарный план подготовки производства поставщиком» (SMS). План базируется на утвержденных вехах глобального проекта заказчика. Проблема заключается в том, что зачастую из-за затягивания подписания контрактных обязательств и передачи КД, многие основные вехи уже остаются позади, что влечет за собой сокращение времени на реализацию проекта.

Важно напомнить, что все затраты на подготовку производства ложатся на поставщика комплектующих. Для минимизации потерь и сроков при подготовке производства мы предлагаем в обязательном порядке применять прототипирование деталей любой сложности перед одобрением старта производства серийной оснастки (CAPRO).



**Рисунок 2. ЗадOCUMENTИРОВАННЫЙ этап прототипирования в Календарном плане изготовления детали**

Средний срок изготовления комплекта деталей, состоящего из 4 деталей в большинстве компаний занимает 1—2 дня.



***Рисунок 3. Примеры прототипных деталей***

Прототипы позволяют на живом примере оценить конструкцию, технологичность и эргономичность будущих деталей, а также оперативно связаться с изготовителем, для предотвращения изготовления несоответствующей оснастки [1].

### ***Фаза 3***

На этом этапе как правило заказчик и поставщик на некоторое время прекращают взаимодействие. Это происходит из-за продолжительного изготовления оснастки. Время изготовления зависит от ее назначения, от 2 до 8 месяцев.

Перед началом изготовления оснастки, изготовитель должен предоставить спроектированную конструкцию поставщику деталей. Данное мероприятие позволит своевременно обнаружить нарушения. На совещании по одобрению обязательно должны присутствовать представители изготовителя, поставщика и заказчика. Практика показывает, что игнорирование этого требования приводит к убыткам, так как доработка занимает от 2-х недель до 3-х месяцев. Известны также случаи, когда доводка проводилась 2 года. Необходимо контролировать изготовителя оснастки, ежемесячно запрашивая информацию по ходу работы. Это позволит минимизировать риски срыва поставки готовой оснастки и оперативно взаимодействовать с изготовителем при возникновении проблем, а также предупредить заказчика о выходе за установленные временные рамки.

### ***Фаза 4***

После получения первых образцов и проведения испытаний часто оказывается, что свойства готового изделия отличаются от заложенных в проектной документации. По настоятельным рекомендациям команды заказчика эти несоответствия не учитываются в документации, и процедура изменения конструкции/процесса не применяется. Не стоит полагаться на утвержденные протоколы одобрения, при выявлении проблем в серийной поставке за все несоответствия будет в полной мере отвечать поставщик.

## **Фаза 5**

В завершении проекта важно подвести итоги и дать рекомендации на период наращивания мощностей, используя процедуру «Предпроизводственного аудита». Но заказчик редко приезжает на данное мероприятие и дает команду провести самостоятельный аудит (Self-audit) с пересылкой отчета. Такой подход может применяться при отсутствии возможности личного посещения, в связи с удаленностью завода поставщика. Но заказчик должен учитывать высокие риски, которые за собой ведет игнорирование данного мероприятия.

Далее мы рассмотрим глобальные проблемы, без привязки к конкретной фазе проекта.

Практика работы с данной процедурой показывает, что нет смысла вести полноценный проект по постановке производства мелких деталей не имеющих характеристик по безопасности. Необходимо сосредоточиться на разработке документации для сложных узлов и деталей, имеющих важные характеристики, а также попадающие под требования российского законодательства. Для простых деталей рекомендуем использовать процедуру PPAP [2].

Как было сказано в начале, процедура долгосрочная и часто происходит «естественное» выбытие сотрудников, задействованных в проекте. Мы не будем останавливаться на последствиях ухода ключевых специалистов из проекта. Из опыта можно сказать, что это вряд ли приведет к невозможности реализации проекта, но с большой вероятностью повлияет на сроки и возможно на бюджет. Для того что бы смягчить ситуацию, необходимо документировать все решения и не стоит полагаться на устные договоренности, как это принято в повседневной работе.

Часто поставщики сталкиваются с непониманием отдельных требований ANPQP, это связано с неточной адаптацией данной методики для работы российскими поставщиками. Для решения возникающих вопросов, заказчик должен назначить опытного сотрудника для быстрого реагирования. Часто эта проблема остается без внимания.

При ведении проекта, скапливается большой объем документации, которая в свою очередь требует большого количества времени на проверку и одобрение. Необходимо оптимизировать работу за счет применения программного обеспечения (ПО). В Альянсе Рено-Ниссан-АвтоВАЗ разрабатывалось ПО для оперативного взаимодействия команд поставщика и заказчика, но до внедрения дело не дошло. Российская компания Аскон предлагает готовое решение для работы



с данной процедурой, но из-за отсутствия заинтересованности со стороны Альянса, вопрос по автоматизации подготовки производства остается открытым.

Решение данных проблем позволит существенно повысить качество выпускаемых деталей, а также снизить время подготовки по выпуску новых автомобилей.

### **Список литературы:**

1. Махалин А.А., Нахратова Г.В. Повышение качества сборки пластмассовых изделий при помощи ультразвуковой сварки // Технические науки — от теории к практике. Новосибирск: СибАК, — 2014. — № 34. — С. 76—81.
2. Нахратова Г.В. Непрерывное уменьшение отклонений // Сборник научных трудов Sworld. — 2014. — № 2. — Т. 2. — С. 12—18.

### **СЕКЦИЯ 3.**

## **ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ТОПЛИВАХ РАЗЛИЧНОГО СТРУКТУРНОГО СОСТАВА**

***Заблоцкий Юрий Викторович***

*канд. техн. наук,  
доцент кафедры Судовых энергетических установок  
Одесской национальной морской академии,  
Украина, г. Одесса  
E-mail: [yurzpost@mail.ru](mailto:yurzpost@mail.ru)*

### **RESEARCH WORK ON MARINE MEDIUM SPEED DIESEL ENGINES BY FUELS OF DIFFERENT STRUCTURAL COMPOSITION**

***Zablotskiy Yuriy***

*candidate of Science, assistant professor of marine power plants  
department of Odessa National Maritime Academy,  
Ukraine, Odessa*

#### **АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты исследований работы судовых среднеоборотных дизелей на топливах различного структурного состава. Рассмотрено влияние топлив с различным содержанием серы на эксплуатационные характеристики работы судового дизеля и техническое состояние его топливной аппаратуры.

#### **ABSTRACT**

Results of researches of the marine medium speed diesel engines by fuels of different structural composition. The influence of fuels with different sulfur contents on the performance of the marine diesel engine and its technical condition of the fuel equipment.

**Ключевые слова:** судовой среднеоборотный дизель; структурный состав топлива; эксплуатационные характеристики дизеля; топливная аппаратура высокого давления.

**Keywords:** marine medium-speed diesel; structural composition of the fuel; operational characteristics of diesel; high pressure fuel injection equipment.

Одной из важнейших проблем, возникающих при эксплуатации судовых энергетических установок, является повышение надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания, количество и модельный ряд которых постоянно увеличивается [2]. В последние годы значительно усовершенствовались все судовые дизели, в том числе и среднеоборотные (СОД). В связи с этим изменились требования к качеству топлива, а также стало в большей степени проявляться влияние его эксплуатационных характеристик на эффективность топливоиспользования. Эксплуатационные свойства топлива влияют не только на энергетические и экономические параметры работы судового дизеля, но и непосредственно определяют его хранение, транспортировку, перекачку, подачу, а также развитие рабочего процесса.

Наиболее общими характеристиками качества топлива, которые в определенном сочетании характеризуют его вышеперечисленные эксплуатационные свойства, являются вязкость; плотность; содержание механических примесей, воды, смол; фракционный структурный состав; температура вспышки; теплота сгорания; массовая доля общей серы. Стремление судовладельцев и чартерных компаний к снижению эксплуатационных затрат, приводит к максимально возможному использованию в судовой энергетике высоковязких сортов топлива с низкой стоимостью. При этом данные топлива характеризуются повышенным удельным весом и высоким содержанием сернистых соединений. Среди определяемых соединений серы находятся: элементарная сера, сероводород и группа с невысоким молекулярным весом — меркаптаны, сульфиды и дисульфиды, которые наиболее коррозионно активны и вызывают коррозию и усиленное смолообразование в топливной аппаратуре.

В современных судовых СОД с целью снижения эксплуатационных расходов используются высоковязкие топлива с максимально допустимым содержанием серы. Основными топливами для судовых СОД являются топлива дизельное маловязкое MDO (Marine Diesel Oil) с вязкостью 50 мм<sup>2</sup>/с; моторное средневязкое HFO180 (Heavy Fuel Oil) — с вязкостью 180 мм<sup>2</sup>/с; моторное тяжелое HFO 380 —

с вязкостью 380 мм<sup>2</sup>/с. При особых условиях работы используют аналогичные марки топлива с пониженным содержанием серы HFO180-LS (Low Sulfur) и HFO380-LS.

Топлива для судовых дизелей представляют собой сложные соединения горючих элементов, молекулярное строение которых еще недостаточно изучено, и включают в себя минеральные примеси и влагу. Элементарный химический анализ этих топлив не раскрывает химической природы входящих в них соединений и поэтому не может дать достаточно полного представления об их свойствах, но позволяет рассчитать тепловой и материальный баланс горения топлива. Элементарный химический состав топлива выражается зависимостью

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100 \%$$

и состоит из горючих веществ: углерода  $C$  (содержание которого в топливе составляет 85...88 %), водорода  $H$  (с содержанием в топливе в пределах 10...11 %), серы  $S$  (содержание которой может достигать 3,5 %), а также кислорода  $O$  и азота  $N$ , находящихся в сложных высокомолекулярных соединениях. Кроме того, топливо содержит негорючие минеральные примеси, превращающиеся при сжигании топлива в золу  $A$  и влагу  $W$ .

Структурный состав топлива также оказывает свое влияние на такой параметр, как его смазывающая способность, которая оценивается по величинам износа, критической нагрузке заедания металлов и сил трения (коэффициента трения). В ряде случаев более важной для практики характеристикой топлива является его противозносные свойства, а не смазочная способность. Это объясняется тем, что для многих агрегатов (топливных, гидравлических), работающих в среде низкомолекулярных углеводородных жидкостей (масла или топлива), более важна защита их от повышенного износа, чем некоторое снижение мощности привода вследствие уменьшения сил трения [3].

Основным узлом дизеля, в котором может эффективно использоваться смазывающая способность топлива, является его топливная аппаратура, в частности плунжера топливных насосов высокого давления (ТНВД) и распылители форсунок. Для углеводородных жидкостей соблюдается следующее правило: улучшение противозносных свойств приводит к улучшению смазывающей способности. Но из этого правила есть исключения, прежде всего, при граничном трении, которые характерны именно для ТНВД. В этом случае определяющую роль играют особые «квазикристаллические» свойства

топлива, которые зачастую не описываются расчетными методами, а определяются экспериментально [1].

Смазочное действие топлива в реальных условиях работы ТНВД проявляет себя в сложной совокупности, определяемой условиями трения, поэтому тяжелые условия работы топливной аппаратуры выдвигают повышенные требования к триботехническим характеристикам как самих прецизионных пар, так и топлив, используемых в СОД.

Учитывая изложенное, целью работы являлось определение влияния структурного состава топлива (в частности содержания сернистых соединений) на эксплуатационные и экономические параметры работы судового дизеля, а также на техническое состояние его топливной аппаратуры высокого давления.

Эксперименты выполнялись на трех однотипных судовых СОД S6A2 фирмы “Mitsubishi”, имеющих автономную топливную систему. Это позволяло проводить параллельные исследования для различных сортов топлива. Во время эксперимента дизеля имели одинаковое техническое состояние и эксплуатировались при одинаковых нагрузках.

В качестве эксплуатационных характеристик определялись температура газов перед газотурбоагрегатом (ГТА) и максимальное давление сгорания, которые измерялись с помощью штатных средств диагностики. Эти параметры относятся к основным, по которым происходит регулирование рабочего процесса дизеля и определение рассогласования нагрузки по цилиндрам. За экономическую характеристику принимался удельный эффективный расход топлива.

Исследования проводились для разных сортов судового топлива: маловязкого MDO, средневязкого HFO180 и HFO180-LS, тяжелого HFO 380 и HFO380-LS.

Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис. 1, 2.

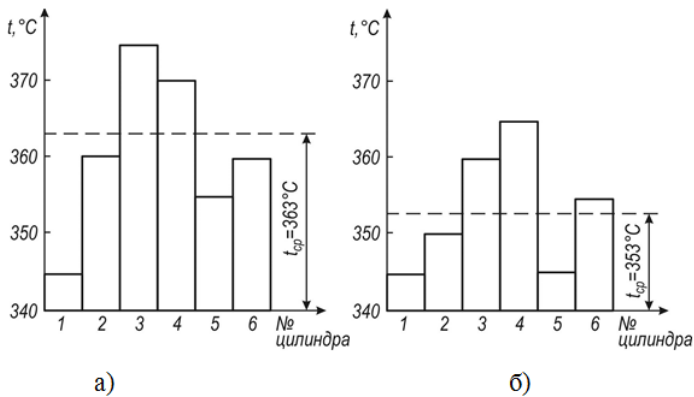
При использовании топлив с повышенным содержанием серы в его структурном составе возрастает температура газов перед ГТА, а вместе с ней и тепловые нагрузки на весь дизель.

Возрастание степени рассогласования величины максимального давления сгорания по цилиндрам дизеля свидетельствует как о повышении триботехнических потерь в элементах топливной аппаратуры дизеля, так и худшем распыливании топлива.

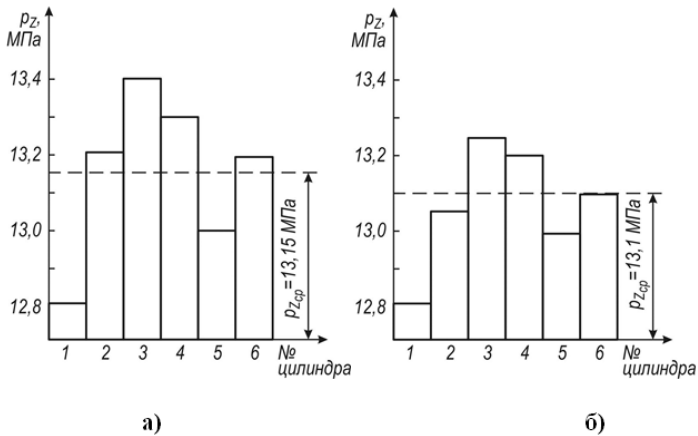
Таблица 1.

**Влияние топлив различного структурного состава на эксплуатационные характеристики работы судового дизеля**

Марка топлива	Содержание серы в топливе, S, % по массе	Средняя температура газов перед ГТН, $t_{cp}$ , °C	Максимальное отклонение температуры газов перед ГТН от среднего значения, %	Максимальное давление сгорания, $p_z$ , МПа	Отклонение максимального давления сгорания от среднего значения, %	Удельный эффективный расход топлива, $b_e$ , г/(кВт·час)
MDO	0,1	350	2,3	13,1	1,05	186
HFO180-LS	0,5	353	2,7	13,1	1,14	192
HFO180	1,1	355	2,95	13,2	1,37	194
HFO380-LS	1,6	360	3,25	13,15	1,78	197
IFO380	2,8	363	3,3	13,2	1,9	199



**Рисунок 1. Рассогласование температуры газов перед ГТН по цилиндрам судового дизеля S6A2 при работе на различных топливах: а — высоковязкое IFO 380; б — средневязкое с низким содержанием серы IFO 180-LS**



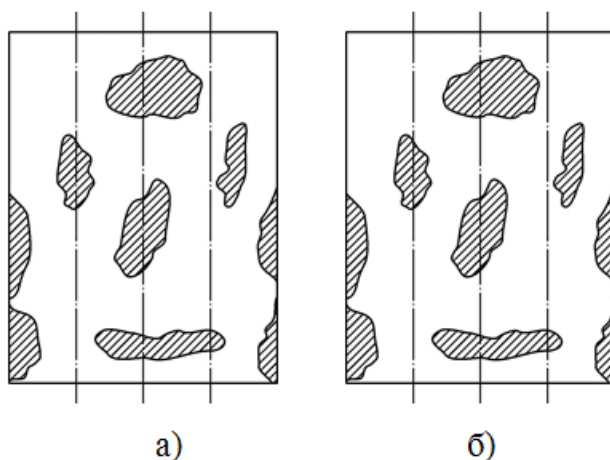
**Рисунок 2. Рассогласование максимального давления сгорания по цилиндрам судового дизеля S6A2 при работе на различных топливах: а — высоковязкое HFO380; б — средневязкое с низким содержанием серы HFO180-LS**

Кроме того, при проведении экспериментов оценивалось техническое состояние топливной аппаратуры дизеля и, в частности, состояние поверхности плунжера ТНВД. Основным видом дефектов данного узла является его износ. При этом, учитывая степень фильтрации топлива перед ТНВД, детали топливной аппаратуры высокого давления более подвержены коррозионному износу, чем механическому или абразивному. Так, наличие воды в топливе вызывает коррозионное разрушение поверхностей деталей прецизионных пар, причем оно значительно интенсифицируется при возрастании количества сернистых соединений в топливе. Частным видом коррозионного износа является окислительный, представляющий собой процесс образования на поверхности деталей пленки окислов вследствие адсорбции кислорода, растворенного в топливе. В процессе трения окисные пленки разрушаются и создают продукты износа, состоящие из окислов металла. Этот вид износа наблюдается обычно в условиях граничного трения (что характерно для ТНВД), когда происходит местный контакт поверхностей, сопровождающийся пластической деформацией и насыщением поверхностных слоев металла кислородом, растворенным в топливе. По мере возрастания толщины окисных пленок последние становятся хрупкими, и от внутренних напряжений, а также под действием гидравлических ударов

струй топлива, происходит их разрушение, при этом обнажаются нижележащие участки поверхности металла и процесс разрушения повторяется.

В качестве подтверждения изложенному на рис. 3 приведены развертки профилей плунжеров после 1060 часов работы судовых СОД S6A2 (время, позволяющее провести демонтаж ТНВД с учетом условий эксплуатации) на топливах различного структурного состава.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что стремление обеспечить эксплуатацию судовых СОД на относительно дешевых сортах топлива, характеризующихся повышенными вязкостью и содержанием серы, приводит к ухудшению эксплуатационных параметров работы дизеля и технического состояния его элементов, в частности плунжеров ТНВД.



**Рисунок 3. Развертка профиля плунжера ТНВД судового дизеля S6A2 после 1060 часов работы: а) работа на топливе HFO380; б) работа на топливе HFO180-LS**

Таким образом, одной из задач современной эксплуатации судовых технических средств является нахождение оптимальных затрат на топливо и его подготовку при минимальных эксплуатационных расходах на поддержание требуемого технического состояния и параметров работы судовых дизелей



### **Список литературы:**

1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматиз, 1963. — 472 с.
2. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. М.: Машиностроение, 2005. — 512 с.
3. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. 2011. № 28. Одесса: ОНМА. — С. 145—153.

## **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ПЛАВАЮЩЕЙ КОРКИ И ОСАДКА В МЕТАНТЕНКЕ**

***Караева Юлия Викторовна***

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник Академэнерго,*

*РФ, г. Казань*

*E-mail: [julieenergy@list.ru](mailto:julieenergy@list.ru)*

## **HYDRAULIC MIXING FLOATING CRUST AND BOTTOM SLUDGE IN DIGESTER**

***Karaeva Yulia***

*candidate of Technical Sciences, Senior Researcher Akademenergo,*

*Russia, Kazan*

*Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики № СП-2442.2012.1.*

### **АННОТАЦИЯ**

Проведено численное исследование процесса гидравлического перемешивания в метантенке субстрата, склонного к расслоению, приводящему к увеличению концентрации на дне и около свободной поверхности.

## ABSTRACT

Numerical investigation of hydraulic mixing process in digester was carried out. The substrate inclined to segregation leading to increase total solid on the bottom and near free surface was used in calculation.

**Ключевые слова:** метантенк; биогаз; гидравлическое перемешивание; расслоение; корка; осадок; численное исследование.

**Keywords:** digester; biogas; hydraulic mixing; segregation; crust; bottom sludge; numerical investigation.

Результаты экспериментальных исследований промышленных аппаратов метанового брожения показали, что недостаточное перемешивание снижает эффективный объем метантенка, вследствие расслоения субстрата, приводящего к увеличению концентрации на дне и около свободной поверхности [1]. Единственным способом борьбы с расслоением субстрата является перемешивание.

Некоторые аспекты формирования корки в аппаратах представлены в следующих работах. Организация *Walker Process Equipment* (США) в 2013 году провела сравнение двух метантенков со струйным и механическим перемешиванием. Проанализированы образцы, взятые по высоте метантенка, и определены средние концентрация и плотность. Корка была обнаружена в метантенке со струйным перемешиванием, ее толщина достигала 3 м. Однако данные результаты являются предварительными и тестовыми, их дальнейшее использование нецелесообразно, так как неизвестен состав субстрата, оценка проведена локально, отсутствует динамика наблюдаемого процесса [2]. Smith K., Cumby T., Lapworth J., Misselbrook T., Williams A. (Великобритания) в 2007 году провели исследование корки в навозохранилище, определили толщину корки, а также величину силы, необходимой для ее разрушения, в динамике. Коллективом данных ученых предложено оригинальное оборудование для проведения эксперимента. Однако эти исследования не проводились для метантенков биогазовой установки [3]. Такими учеными как Tom H. Misselbrook, Siobhan K.E. Brookman, Ken A. Smith, Trevor Cumby, Adrian G. Williams и Dan F. McCrory (США) в 2005 году экспериментально определено влияние состава субстрата и его концентрации на формирование корки. В этом исследовании отсутствуют данные по физико-химическим свойствам образующейся корки [4].

Проведенный аналитический обзор по проблематике исследований показал, что на современном этапе исследований процессов

перемешивания в метантенке необходимо учитывать склонность различных органических субстратов к расслоению. В создании расчетных методов здесь преобладают математические модели с граничными условиями, игнорирующими возможность образования корки и осадка. Многие экспериментальные исследования все еще ограничиваются лишь измерением осредненных характеристик концентрационного поля на выходе из метантенка, по которым невозможно получить представление о пространственной картине процесса перемешивания внутри аппарата. Таким образом, в работе планируется решить актуальную задачу исследования влияния гидравлического способа перемешивания на разрушение корки и осадка в метантенке.

Математическое моделирование проведено при следующих допущениях: течение в метантенке турбулентное; двухфазная среда (субстрат) рассматривается как гомогенная жидкость, вязкость и плотность которой зависят от концентрации твердой фазы; процессы диффузии пренебрежимо малы по сравнению с конвективным переносом массы; температура постоянна.

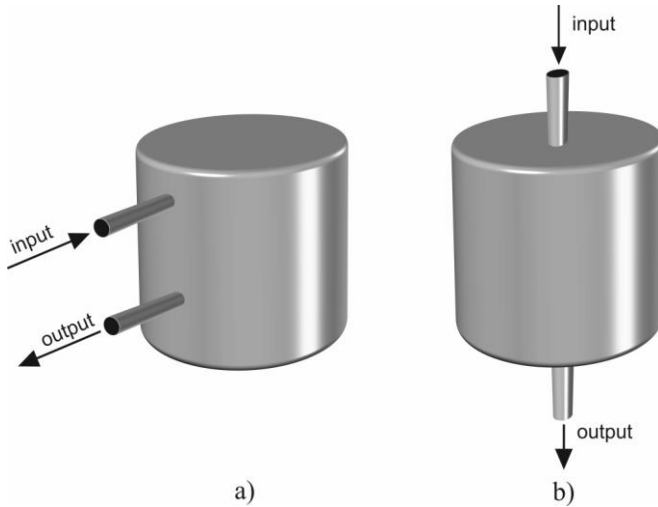
Для численных исследований использовался пакет моделирования *COMSOL Multiphysics*, позволяющий решать системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов.

Численные исследования и сравнительный анализ проводились для двух способов рециркуляции органического субстрата в метантенке (рис. 1).

1 способ. Патрубки рециркуляции субстрата расположены параллельно, на некотором расстоянии друг от друга на боковой поверхности (рис. 1a). Верхний патрубок является подающим, а нижний служит для отвода органического субстрата.

2 способ (рис. 1b). Подающий патрубок расположен в центре крышки метантенка, а отводящий патрубок — на дне аппарата, по центру.

Объем метантенков одинаков и составляет  $3,22 \text{ м}^3$ . Соотношение высоты к диаметру аппарата 1:1. Радиус циркуляционных патрубков одинаков и равен  $0,05 \text{ м}$ . Расход жидкости  $0,0008 \text{ м}^3/\text{с}$ . Субстрат представляет собой свиной навоз с содержанием сухого вещества  $6 \%$ .



**Рисунок 1. Принципиальная конструкция метантенков**

В качестве показателя оценки качества перемешивания предлагается безразмерная величина  $QM$ :

$$QM = \frac{\bar{\delta}}{\delta_{\max}}, \quad (1)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{B_0 \rho(\alpha_i) \alpha_i}{HRT} \left( 1 - \frac{K(\alpha_i)}{HRT \mu_{\max} - 1 + K(\alpha_i)} \right) \cdot W_i \right] \quad (2)$$

$$\delta_{\max} = \frac{B_0 \rho(\alpha_1) \alpha_1}{HRT} \left( 1 - \frac{K(\alpha_1)}{HRT \mu_{\max} - 1 + K(\alpha_1)} \right) \quad (3)$$

где:  $\bar{\delta}$  — среднее значение интенсивности выхода биогаза в метантенке ( $\text{м}^3$  биогаза/ $\text{м}^3$  субстрата);

$\delta_{\max}$  — максимальное значение интенсивности выхода биогаза ( $\text{м}^3$  биогаза/ $\text{м}^3$  субстрата);

$B_0$  — предельный выход биогаза из единицы органического вещества,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$HRT$  — время гидравлического удержания субстрата, сут.;

$K$  — кинетический коэффициент;

$\mu_{\max}$  — максимальная скорость роста микроорганизмов, 1/сут.;

$W$  — объем метантенка ( $m^3$ );

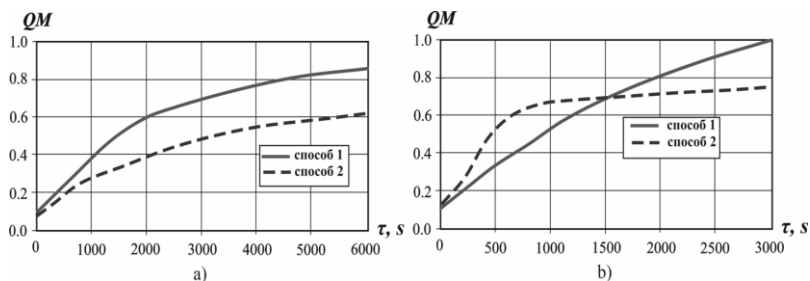
$W_i$  —  $i$ -тый элементарный объем ( $m^3$ );

$\alpha_i$  — объемная концентрация в  $i$ -том элементарном объеме ( $1/m^3$ );

$\rho$  — плотность субстрата, ( $кг/m^3$ ).

Показатель  $QM$  стремится к единице, что соответствует состоянию полной однородности субстрата в реакторе.

При условии, что в начальный момент времени на дне метантенка осадок, через 6000 с критерий  $QM=0,8535$  в первом метантенке и  $QM=0,6139$  во втором, что свидетельствует о более высокой производительности по биогазу в первом аппарате (рис. 2а). Таким образом, в первом метантенке качество перемешивания выше на 28 %.



**Рисунок 2. Динамика критерия  $QM$**

При условии, что в начальный момент времени в метантенке на дне и около свободной поверхности наблюдается увеличение концентрации вследствие расслоения субстрата, то через 3000 с критерий  $QM=0,9999$  в первом метантенке, что соответствует максимальной производительности по биогазу, а также возможности выключения перемешивающего устройства (рис. 2б). Во втором аппарате  $QM=0,7513$ , что свидетельствует о более низком качестве перемешивания.

### **Заключение**

Результаты численных исследований показывают, что процесс расслоения органического субстрата в метантенке влияет на время

и качество перемешивания субстрата. Необходимы дополнительные численные и экспериментальные исследования влияния конструктивно-технологических характеристик системы перемешивания на время разрушения плавающей корки и осадка в метантенке.

### **Список литературы:**

1. Гюнтер Л.Л., Гольдфарб Л.Л. Мегантенки. М.: Стройиздат, 1991. — 128 с.
2. Digester Mixing Test at DeKalb Illinois Sanitary District WWTP. Preliminary Test Report October 2013. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.walker-process.com/pdf/Oct2013fieldtestsummary.pdf> (дата обращения 02.09.2014).
3. Smith K. Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms/ K. Smith, T. Cumby, J. Lapworth, T. Misselbrook, A. Williams // Biosystems Engineering. — 2007. — № 97(4). — P. 464—471.
4. Misselbrook T.H. Crusting of Stored Dairy Slurry to Abate Ammonia Emissions: Pilot-Scale Studies / T.H. Misselbrook, S.K.E. Brookman, K.A. Smith, T. Cumby, A.G. Williams, D.F. McCrory // Journal of Environmental Quality. — 2005. — № 34. — P. 411—419.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА ГТУ**

***Неволин Александр Михайлович***

*аспирант кафедры «Турбины и двигатели»  
Уральского федерального университета  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
РФ, г. Екатеринбург  
E-mail: [alexandr\\_nevolin@mail.ru](mailto:alexandr_nevolin@mail.ru)*

***Плотников Петр Николаевич***

*д-р техн. наук, профессор кафедры «Турбины и двигатели»  
Уральского федерального университета  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
РФ, г. Екатеринбург  
E-mail: [plot24@mail.ru](mailto:plot24@mail.ru)*

# MODERNIZATION OF AIR CIRCUIT OF GAS-TURBINE UNIT OIL AIR COOLER

*Alexandr Nevolin*

*postgraduate student  
of Turbins and Engines department of Ural Federal University  
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Russia, Yekaterinburg*

*Petr Plotnikov*

*D.E., professor  
of Turbins and Engines department of Ural Federal University  
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Russia, Yekaterinburg*

## АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты численного расчета и экспериментального исследования аппарата воздушного охлаждения масла до и после модернизации его воздушного тракта. Модернизация заключалась в установке выравнивающего устройства, равномерно распределяющего поток воздуха перед трубным пучком. Приведены примеры полей скоростей потока воздуха на входе в теплообменную секцию до и после модернизации. Показано повышение удельного теплосъема секции маслоохладителя после выравнивания поля скоростей воздуха.

## ABSTRACT

The article deals with the results of numerical research and experimental studies of gas-turbine unit oil air cooler before and after its air circuit modernization. Modernization was to install a leveling apparatus that distributes the air flow uniformly in front of the tube bank. The author is giving the examples of the air flow velocity field in front of the finning before and after modernization. The article state the enhancement of the oil cooler heat flux after the air flow velocity field leveling.

**Ключевые слова:** направляющий аппарат; маслоохладитель ГТУ; аппарат воздушного охлаждения; аэродинамика; распределение потока теплоносителя.

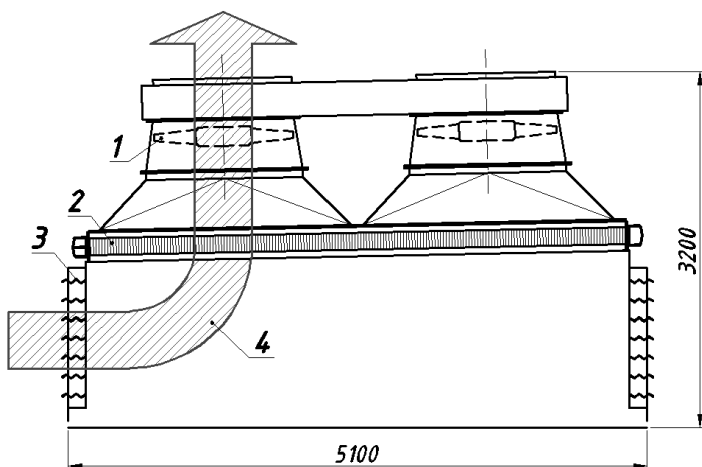
**Keywords:** guide apparatus; gas-turbine unit oil cooler; air cooler; aerodynamics; heat carrier flow distribution.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко используются в газотранспортной отрасли со времен начала ее активного развития. На компрессорных станциях магистральных газопроводов (КС МГ) АВО используются для охлаждения перекачиваемого природного газа и масла системы смазки газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Данная работа посвящена повышению эффективности работы аппарата воздушного охлаждения масла (АВОм) за счет модернизации воздушного тракта. Модернизация заключается в установке в подсекционное пространство АВОм специально разработанного направляющего аппарата (НА), равномерно распределяющего поток воздуха перед входом в оребрение, благодаря чему создаются более оптимальные условия для теплообмена.

В качестве объекта исследования и последующей модернизации выбран АВОм венгерского производства с типом теплообменной секции 06—10. Данный АВОм массово эксплуатируется на компрессорных станциях магистральных газопроводов (КС МГ) для охлаждения масла смазки ГПА на базе газотурбинной установки ГТН-16. Теплообменник имеет горизонтально расположенный трубный пучок, над которым установлены два вентилятора, вытягивающие воздушный поток вверх. Воздух к оребрению подводится с боков аппарата через систему жалюзи (рис. 1). Вследствие бокового подвода воздуха было сделано предположение, что поток воздуха перед входом в оребрение распределяется неравномерно. Неравномерность подвода воздуха, особенно при повышении его температуры в летний период, может являться причиной недостаточной глубины охлаждения масла [1], что влечет за собой уменьшение вязкости масла и как следствие — снижение толщины масляного клина в подшипниках турбоагрегата.





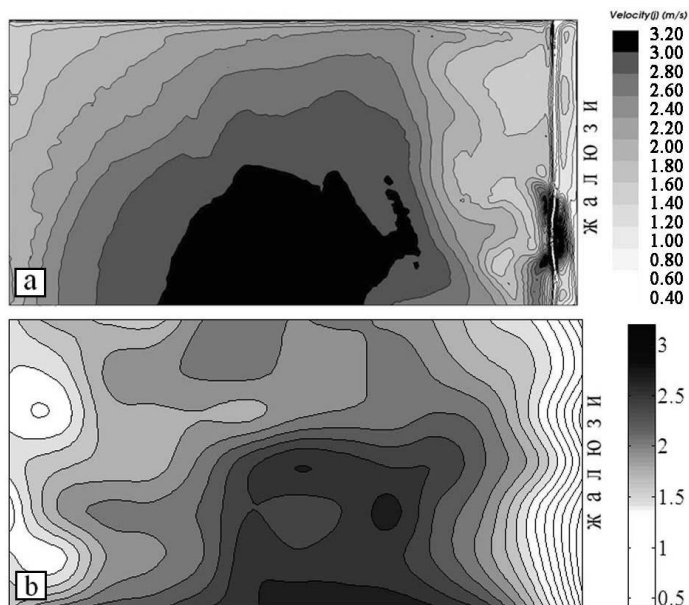
**Рисунок 1. Аппарат воздушного охлаждения: 1 — крыльчатка вентилятора; 2 — трубный пучок, 3 — жалюзи, 4 — направление движения воздушного потока**

Для проверки предположения было проведено численное моделирование аэродинамики АВОм. Конструкция теплообменника симметрична относительно продольной и поперечной вертикальных плоскостей, поэтому для расчета была создана модель четверти маслоохладителя. Моделирование было произведено в программе конечно-элементного анализа процессов гидрогазодинамики STAR-CCM+. Все элементы АВОм, за исключением густо оребренного трубного пучка были смоделированы в явном виде. Трубный пучок был заменен пористым телом с эквивалентными гидравлическими характеристиками. Использование пористого тела не требующего высокого разрешения расчетной сетки (в отличие от мелкого оребрения, моделируемого в явном виде), позволило многократно сократить количество конечных элементов модели и дало саму возможность произвести расчет.

Результаты численного моделирования аэродинамики АВОм подтвердили, что пройдя систему жалюзи и совершив поворот на  $90^\circ$ , воздух на входе в оребрение распределяется неравномерно с образованием зон с низкими скоростями потока по краям и в середине трубного пучка.

Для верификации численной модели было произведено экспериментальное исследование аэродинамики АВОм в условиях эксплуатации на КС МГ. Со средним отклонением порядка 15 %

результаты эксперимента согласуются с результатами моделирования (рис. 2). Минимальные и максимальные значения скоростей воздуха для различных участков сечения аппарата различаются в 3,5—4 раза. В начале теплообменной секции была отмечена «застойная» зона со скоростями потока 0,3—0,9 м/с. В ядре потока расположенном под вентилятором скорость изменялась в пределах 2,8—3,2 м/с [2].



**Рисунок 2. Поля скоростей воздуха на входе в теплообменную секцию АВОм: а — результат моделирования; б — результат измерения**

Хорошее качественное и количественное совпадение результатов, позволило верифицировать численную модель и оправданно использовать ее для проведения расчетов по поиску более рациональной системы подвода воздуха с целью ее модернизации.

В качестве решения поставленной задачи было предложено спроектировать направляющий аппарат (НА), позволяющий более равномерно распределить воздушный поток на входе в теплообменную секцию.

Поиск оптимальной геометрии поверхностей НА производился посредством вариантных расчетов на верифицированной модели [3].

К направляющему аппарату было выдвинуто требование «максимальное снижение неравномерности поля скоростей на входе в оребрение, при условии минимальных гидравлических потерь, простоты и технологичности изготовления конструкции». В итоге была выбрана конструкция, состоящая из пяти направляющих, спрофилированных по потоку, и одной поперечной разделяющей перегородки, цель которой — оттеснение части потока к периферии трубного пучка. Геометрия полученных направляющих хорошо описывается при помощи полиномов четвертой степени.

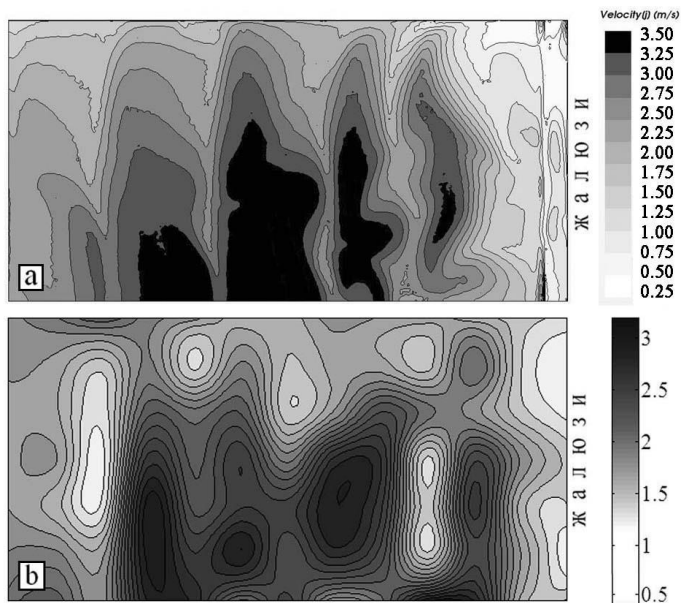
Спроектированный и изготовленный НА прошел испытания в условиях эксплуатации на АВОм Карпинского ЛПУ МГ (ООО «Газпром трансгаз Югорск»). Экспериментальная конструкция направляющего аппарата (рис. 3) была выполнена из сотового поликарбоната. Эффективность работы НА оценивалась по теплосъему секции АВОм до и после установки экспериментальной конструкции.



***Рисунок 3. Направляющий аппарат (половина) смонтированный в подсекционном пространстве АВОм***

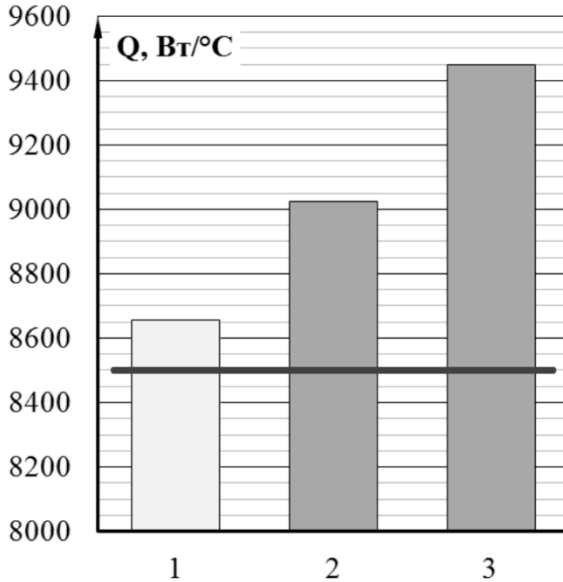
Измеренное поле скоростей после установки направляющего аппарата, как качественно так и количественно соответствует данным полученным при моделировании (рис. 4). После установки НА ядро потока разделяется на 4 (5 — при моделировании) составляющие, градиент скорости по фронту оребрения снижается. На внутреннем радиусе, сразу за жалюзи, средняя скорость воздуха в застойной зоне повышается до 1,3 м/с. Средние скорости воздуха в отдельных

субядрах остаются на уровне 2,55—2,65 м/с (рис. 4,b). По сравнению с экспериментом моделирование показало больший градиент скорости. В частности, в ядре потока средняя модельная скорость больше экспериментальной на 12 % и 19 % (до и после установки НА соответственно).



**Рисунок 4. Поле скоростей воздуха на входе в теплообменную секцию с установленным направляющим аппаратом: а — результат моделирования; б — результат измерения**

С установленным направляющим аппаратом удельный теплосъем секции увеличился на 4—9 % (в зависимости от температуры начальных температур теплоносителей) по сравнению со значением, полученным без направляющего аппарата (рис. 5). В первом измерении температура воздуха составляла  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура масла  $+47,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , во втором  $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $40,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно.



**Рисунок 7.** Удельный теплосъем секции АВОм: 1 — результат измерения до установки направляющего аппарата; 2 — результат измерения после установки направляющего аппарата,  $t_{в1}=2,6^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{м1}=40,2^{\circ}\text{C}$ ; 3 — результат измерения после установки направляющего аппарата,  $t_{в1}=-0,2^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{м1}=47,5^{\circ}\text{C}$ ; линией показано значение теплосъема согласно паспортным данным АВОм [4]

### Заключение

1. Установлено, что использование сравнительно простой конструкции направляющего аппарата, выравнивающего поток на входе в теплообменную секцию, способствует повышению надежности эксплуатации газотурбинной установки за счет увеличения эффективности работы маслоохладителя.

2. Сопоставление результатов экспериментального и расчетного исследований показало их хорошее совпадение, что позволяет рассматривать методику численного моделирования АВО, как верифицированную и дает возможность ее обоснованного применения на аппаратах воздушного охлаждения другого типа.

3. По нашему мнению, применение направляющего аппарата в воздушном тракте АВОм в летний период эксплуатации можно рекомендовать и для АВО другого типа, в первую очередь для АВО газа с вентиляторами, работающими в режиме нагнетания.

### **Список литературы:**

1. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов). М.: Машиностроение, 1983. — С. 38.
2. Неволин А.М., Плотников П.Н. Исследование эффективности работы аппаратов воздушного охлаждения масла ГТУ // Тяжелое машиностроение. — 2012. — № 4. — С. 26—29.
3. Неволин А.М., Плотников П.Н. Совершенствование аэродинамики аппаратов воздушного охлаждения масла ГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Т. 2. Материалы VIII Международного симпозиума. М.: РАН, 2013. — С. 46—50.
4. Техническое описание и инструкция по монтажу, эксплуатации и уходу за группой маслоохладителей зимнего исполнения типа 06-10 Будапешт: Институт Энергетики 1979 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

*Сажин Сергей Викторович*

*канд. техн. наук,  
доцент кафедры Судовых энергетических установок  
Одесской национальной морской академии,  
Украина, г. Одесса  
E-mail: [saginsergey@mail.ru](mailto:saginsergey@mail.ru)*

## **RESEARCH OF INTERRELATION OF LIQUID CRYSTAL PROPERTIES OF BOUNDARY LUBRICATING LAYERS AND RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS**

*Sagin Sergii*

*candidate of Science, associate professor, assistant professor  
of marine power plants department of Odessa National Maritime Academy,  
Ukraine, Odessa*

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрен способ изучения жидкокристаллических характеристик граничных смазочных слоев судовых моторных масел с помощью оптического метода дихроизма поглощения примесных молекул. Выполнены исследования реологических характеристик моторных масел. Определены корреляционные зависимости вязкости граничного смазочного слоя моторного масла от степени ориентационной упорядоченности его молекул.

## ABSTRACT

A method of studying the characteristics of the liquid crystal boundary lubricant layers of marine engine oils with an optical method dichroism in the absorption of impurity molecules. The studies of the rheological properties of motor oils. The correlation of the viscosity of the boundary lubricating film of engine oil on the degree of orientational ordering of its molecules.

**Ключевые слова:** моторное масло для судовых дизелей; жидкокристаллические характеристики граничного смазочного слоя; вязкость граничного смазочного слоя.

**Keywords:** motor oil for marine diesel engines; liquid crystal characteristics of the boundary lubricant layer; the viscosity of the boundary lubricant layer.

В энергетических установках используется два вида углеводородных жидкостей — смазочные масла и топлива. Смазочные масла представляют собой смесь высокомолекулярных углеводородов различных классов — парафиновых, нафтеновых, ароматических со значительным количеством присадок, включающих в свой состав различные элементы. Основная масса углеводородов состоит из смешанных молекул, содержащих всевозможные комбинации ароматических и нафтеновых колец с цепями парафиновых углеводородов. Подобная структура смазочного материала предопределяет его различные реологические и эксплуатационные характеристики, а также жидкокристаллические свойства [2, 5].

С начала использования моторных масел (ММ) было замечено, что в граничном режиме трения масла, характеризующиеся одними и теми же объемными параметрами (плотностью, вязкостью и др.), обладают различными антифрикционными и противоизносными свойствами. Одновременно с этим указывалось, что свойства ММ, определяющие их антифрикционные качества, могут быть связаны с ориентационной упорядоченностью молекул в пристенных слоях,

образуемых данными маслами у металлической поверхности [3]. Ориентация молекул в граничном слое может быть гомеотропной (в случае перпендикулярного расположения молекул относительно твердой металлической поверхности) или планарной (при параллельном расположении молекул к поверхности).

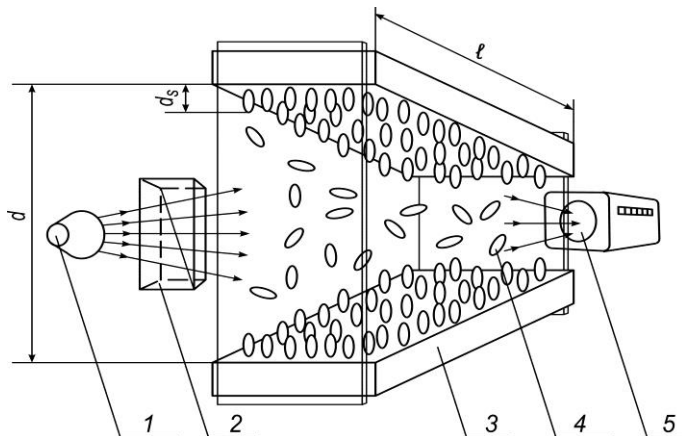
Современный подход к смазочным материалам, учитывающий, что в тонких слоях их поведение необходимо рассматривать с точки зрения жидкокристаллического строения, отмечает не только триботехнические характеристики, но и жидкокристаллические. Выполнение смазочным материалом одной из своих функций (повышения износостойкости контактируемых поверхностей) зависит в основном от его способности формировать устойчивый граничный слой. Данное свойство смазки, называемое в некоторых случаях «маслянистостью», зависит не только от характеристик самого смазочного материала, но и в значительной мере от поверхности, на которой формируется граничный смазочный слой. Так, в зависимости от типа смазки и подложки его толщина может колебаться в пределах 1...20 мкм. Наибольшее значение при этом относятся к специальным смазочным материалам, включающим в свой состав разного рода полярные органические или неорганические соединения [4].

Определение толщины граничного слоя, которая является одной из основных характеристик, характеризующей его прочность и способность оказывать сопротивление нормальным нагрузкам, можно производить рядом способов. Одним из основных методов получения информации об особенностях ориентационной упорядоченности органических жидкостей в тонких слоях является анализ зависимости формы их спектров поглощения от толщины. Для этого может быть использован метод дихроизма поглощения примесных молекул [6], реализация которого осуществляется с помощью экспериментальной установки, показанной на рис. 1.

Источник 1 обеспечивал подачу к исследуемой жидкости малорасходящегося пучка монохроматического света, который проходил через поляризатор 2 и направлялся в световод 3, заполненный исследуемым материалом 4. Боковые поверхности световода выполнялись из стали и отполировывались по высокому классу точности. Ширина световода  $d$  изменялась в пределах 8...30 мкм с помощью микрометрического устройства и контролировалась с помощью микроскопа. На выходе из оптической системы помещалось фотоэлектрическое устройство 5, с помощью которого фиксировалась интенсивность света, прошедшего через световод. Поляризатор 2 обеспечивал два типа поляризации падающего света:



$p$ -поляризация, когда электрический вектор световой волны параллелен боковой поверхности световода и  $n$ -поляризация, когда перпендикулярен к ней. Боковые поверхности световода закрывались плоскими стеклянными пластинами, что устраняло менисковые эффекты в оптической системе. Перед экспериментом эти пластины последовательно промывались в горячей хромовой кислоте, дистиллированной воде и высушивались.



**Рисунок 1. Схема установки для исследования дихроизма поглощения примесных молекул: 1 — источник света; 2 — поляризатор; 3 — световод; 4 — исследуемый материал; 5 — фотоэлектрическое устройство**

Определение типа структуры молекул граничного смазочного слоя проводилось по зависимости оптической плотности  $D$  (в максимуме полосы поглощения) от толщины пристенного слоя.

При прохождении света по световоду, заполненному поглощающей средой, интенсивность света  $I$  убывает по закону Бугера

$$I = I_0 \cdot e^{-D}$$

который может быть представлен в виде

$$D = \ln \frac{I_0}{I},$$

где:  $I_0$  и  $I$  — соответственно, значения интенсивности света, прошедшего через световод с чистой жидкостью и с жидкостью, содержащей примесные молекулы при одинаковых значениях его ширины;

$D$  — оптическая плотность поглощающего вещества, которая. В свою очередь, определяется по выражению

$$D = l\mu_i + 2ld_s(\mu_s - \mu_i) \frac{1}{d},$$

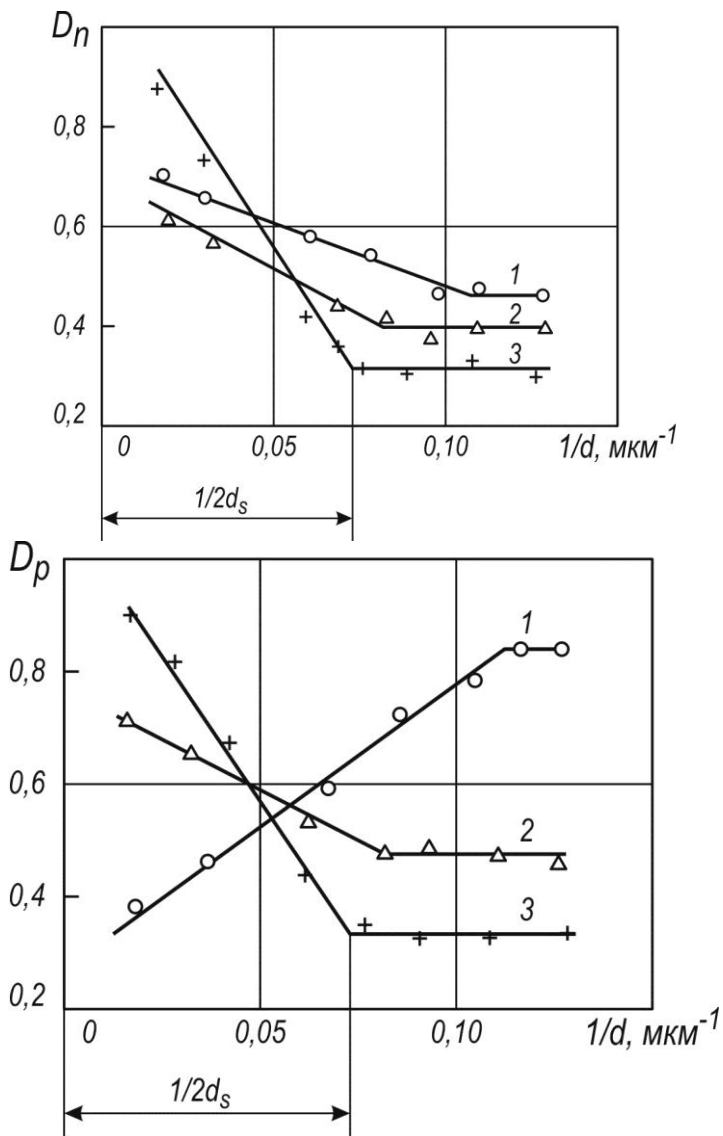
где:  $l$  и  $d$  соответственно длина и ширина световода;

$\mu_s$  и  $\mu_i$  — коэффициенты поглощения пристенных слоев и объемной жидкости в световоде;

$d_s$  — толщина пристенных слоев жидкости.

Из последнего выражения видно, что в изотропной фазе зависимость  $D=f(d)$ , в соответствии с законом Бугера, линейная. Наличие упорядоченности в пристенном слое (тонкой части прослойки) приводит к отклонению от линейности и график  $D=f(d)$  возможно аппроксимировать двумя прямыми, соответствующими изотропной и объемной фазе.

С помощью вышеизложенного метода и последующей обработки экспериментальных результатов возможно получить информацию о параметре порядка, положении молекул и толщине граничного слоя. Так, данным способом определялись жидкокристаллические характеристики ММ, использующихся в циркуляционных системах смазывания судовых дизелей: Castrol MLC60; Mobil 412; Exxon 420. Результаты исследований показаны на рис. 2, где приведены зависимости оптической плотности световода  $D$  для  $n$  и  $p$ - поляризаций падающего света от его обратной ширины  $1/d$ .



**Рисунок 2. Зависимости оптической плотности  $D$  от обратной ширины световода  $1/d$  для судовых ММ: 1 — Castrol MLC60; 2 — Mobil 412; 3 — Exxon 420**

Первоначальный участок зависимости  $D=f(1/d)$  свидетельствует о степени ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое, а точка перегиба соответствует его удвоенной толщине. Чем больше угол наклона первоначального участка, тем выше степень ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое. Приближение точки перегиба зависимости к началу координат свидетельствует о большей толщине граничного слоя (учитывая обратную зависимость  $1/d$ ).

Степень ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое оценивается интегральным параметром  $d_s \cdot \Delta n_{cp}$  (где  $\Delta n_{cp}$  — усредненное значение оптической анизотропии пристенного слоя), который может быть рассчитан по результатам эксперимента.

С помощью проведенных исследований было установлено, что толщина граничного смазочного слоя для судовых ММ составляет 8...15 мкм. Необходимо отметить, что порядок данной величины соответствует величине зазора в паре вал-вкладыш, что подтверждает ее граничный режим смазывания, а также жидкокристаллическую структуру граничных смазочных слоев ММ.

Следующим этапом исследований было определение корреляционной зависимости между реологическими и жидкокристаллическими характеристиками ММ. В качестве реологических характеристик ММ принималась его вязкость, которая различалась на «объемную» и «граничную». «Объемная» вязкость, т. е. вязкость ММ в большом объеме, определялась с помощью штатного вискозиметра, а «граничная» вязкость, т. е. вязкость ММ в граничном смазочном слое — с помощью ротационного вискозиметра [1].

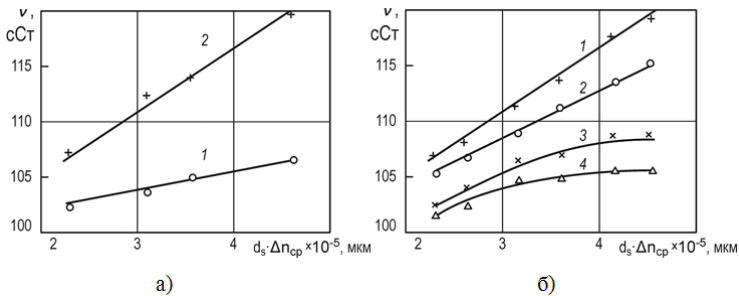
В результате эксперимента было подтверждено, что «граничная» вязкость ММ имеет большее значение, чем вязкость масла в объеме, что объясняется возникновением ориентационной упорядоченности молекул в граничном смазочном слое.

В табл. 1 приведены значения, характеризующие реологические и жидкокристаллические характеристики рассмотренных судовых ММ, а на рис. 3 приведена корреляционная зависимость, связывающая эти параметры. При этом измерение вязкости проводилось для различных скоростей сдвига  $\gamma'$ , соответствующих геометрическим размерам трибосопряжения вал — вкладыш подшипника дизеля, а также частоте его вращения.

Таблица 1.

Жидкокристаллические и реологические характеристики ММ

Марка ММ	«Объемная» вязкость, $\nu_{об}$ , сСт	Вязкость граничного смазочного слоя $\nu_{гр}$ , сСт	Толщина граничного смазочного слоя, $d_s$ , мкм	Интегральный параметр $d_s \cdot \Delta n_{ср}$ , $\times 10^{-5}$ , мкм
Castrol MLC30	102	107	8,2	2,24
Castrol MLC60	103	108	8,6	2,56
Mobil 312	103	112	10,4	3,18
Mobil 412	105	113	12,6	3,52
Exxmar 350	106	118	14,2	4,22
Exxmar 420	107	119	15,2	4,63



**Рисунок 3. Корреляционная зависимость вязкости ММ  $\nu$  от параметра  $d_s \cdot \Delta n_{ср}$ , характеризующего жидкокристаллические свойства: а) при скорости сдвига  $\gamma=125 \text{ с}^{-1}$ : 1 — «объемная» вязкость; 2 — вязкость граничного смазочного слоя; б) при различных скоростях сдвига: 1 —  $\gamma=125 \text{ с}^{-1}$ ; 2 —  $\gamma=150 \text{ с}^{-1}$ ; 3 —  $\gamma=175 \text{ с}^{-1}$ ; 4 —  $\gamma=200 \text{ с}^{-1}$**

Анализируя результаты, приведенные в табл. 1 и на рис. 3, следует отметить, что повышение жидкокристаллических характеристик смазочного материала (степени ориентационной упорядоченности и толщины граничного смазочного слоя) способствует увеличению вязкости ММ, как в объемной фазе, так и в граничном слое. Последнее (в связи с повышением упругодемпфирующих свойств) особенно

актуально для процесса смазывания подшипников скольжения судовых дизелей, как одного из динамически напряженных узлов двигателя.

Между реологическими (в частности вязкостью  $\nu$ ) и жидкокристаллическими (толщиной граничного слоя и степенью ориентационной упорядоченности молекул  $d_s \cdot \Delta n_{cp}$ ) характеристиками моторного масла существует корреляционная зависимость, которая может быть определена экспериментальным путем. Зависимость  $\nu=f(d_s \cdot \Delta n_{cp})$  линейна для диапазона скоростей сдвига  $\gamma' \in [100, 150 \text{ с}^{-1}]$ , соответствующих геометрическим размерам подшипников коленчатого вала судовых среднеоборотных дизелей и частотам его вращения. При увеличении скоростей сдвига зависимость  $\nu=f(d_s \cdot \Delta n_{cp})$  носит экспоненциальный характер.

Отметим также, что увеличение скорости сдвига приводит к снижению жидкокристаллических характеристик смазочного материала и, как следствие, к снижению вязкости масла в граничном смазочном слое. Это объясняется «срезанием» структурированных молекулярных слоев при повышении частоты вращения коленчатого вала и способствует уменьшению несущей способности масляной пленки.

### Список литературы:

1. Алтоиз Б.А., Асланов С.К., Бутенко А.Ф. Ротационный вискозиметр для исследования микронных прослоек // Физика аэродисперсных систем. — 2005. — № 42. — С. 53—65.
2. Алтоиз Б.А., Поповский Ю.М. Физика приповерхностных слоев жидкости. Одесса : Астропринт, 1996. — 152 с.
3. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Гребенюк М.Н. Противовизные свойства граничных смазочных слоев // Судовые энергетические установки. Одесса, — 1998. — Вып. 2. — С. 37—42.
4. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Ханмамедов С.А., Гребенюк М.Н. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения. — 1996. — № 6. — С. 7—11.
5. Сагин С.В., Заблочкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники. — 2011. — № 3. — С. 78—88.
6. Сагин С.В., Мащевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: Одесса, — 2010. — Вып. 26. — С. 116—125.

# ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТЫХ ТОПЛИВ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Солодовников Валерий Григорьевич*

*старший преподаватель кафедры технической эксплуатации флота  
Одесской национальной морской академии,*

*Украина, г. Одесса*

*E-mail: [saginsergey@mail.ru](mailto:saginsergey@mail.ru)*

## THE INFLUENCE SULFUR FUELS ON THE CORROSIVE WEAR OF THE CYLINDER GROUP AND ECOLOGICAL PARAMETERS OF MARINE DIESEL ENGINES

*Solodovnikov Valerii*

*senior Lecturer of technical operation of the fleet department  
of Odessa National Maritime Academy,*

*Ukraine, Odessa*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности работы судовых среднеоборотных дизелей на высоковязких топливах. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния содержания серы в топливе на износ цилиндропоршневой группы судового двигателя внутреннего сгорания, а также на экологические параметры его работы

### ABSTRACT

The features of the ship's diesel engines of medium to high viscosity fuels. The results of experimental studies to determine the effect of fuel sulfur content on the wear of the cylinder group of marine internal combustion engine, as well as environmental performance of its work.

**Ключевые слова:** топливо для судовых среднеоборотных дизелей; содержание серы в топливе; коррозионный износ цилиндрической группы; содержание оксидов серы в выпускных газах.

**Keywords:** fuel for marine medium-speed diesels; fuel sulfur content; the corrosive wear cylinder group; the content of sulfur oxides in the exhaust gases.

В последние годы на морских транспортных судах для судовых среднеоборотных дизелей (СОД) все шире применяются тяжелые сорта топлива высокой вязкости, имеющие более низкую стоимость [1]. Так например, сорта тяжелого топлива HFO (Heavy Fuel Oil) 380 с вязкостью 380 мм<sup>2</sup>/с на мировом топливном рынке имеют стоимость 750...780 \$/тонна. В то время, как стоимость легких сортов топлива достигает 900 \$/тонна. При этом нужно учитывать, что мощность главных и вспомогательных двигателей судовых энергетических установок (СЭУ) лежит в диапазоне от нескольких сотен до десятков тысяч киловатт. При среднем удельном эффективном расходе топлива 180...185 г/(кВт·час) суточный расход топлива главным двигателем может составлять 200...250 тонн/сутки, а вспомогательными, количество которых на современных судах до 4-х, а число параллельно работающих до 3-х, 10...12 тонн/сутки. Таким образом, затраты на топливо для мощных СЭУ достигают 200...250 тыс.\$USA/сутки, а для СЭУ средней мощности 18...20 тыс.\$USA/сутки. Приведенные данные еще раз подчеркивают важность решения задач по минимизации эксплуатационных расходов на топливоиспользование в СЭУ.

Перспективы развития транспортного судостроения с применением СОД в мировой практике тесно связано с использованием тяжелых сортов топлива. При этом следует отметить, что подобные топлива используются для работы СОД, выполняющих функции как главных, так и вспомогательных двигателей. Кроме того, в судовой практике отчетливо прослеживается тенденция использования высоковязких сортов топлива не только для современных моделей СОД, но и перевода СОД предшествующих моделей (спроектированных с условием работы на легких сортах топлива) на эксплуатацию с использованием топлива повышенной вязкости.

Стоимость топлива также напрямую связана с количеством находящейся в нем серы. Сера в топливе находится в составе неорганических соединений. Сернистые соединения, входящие в состав топлива, принято подразделять на активные и неактивные. Активные сернистые соединения (свободная сера, сероводород, меркаптаны) при контакте с металлом вызывают коррозию. Неактивные сернистые соединения (сульфиды, дисульфиды и др.) при обычных условиях не вызывают коррозии металлов. Однако, действие как активных, так и неактивных сернистых соединений в условиях протекания рабочего процесса в камере сгорания двигателей внутреннего сгорания (ДВС) изменяется. Обе категории примесей переходят в разряд активных компонентов. Это происходит



в следствии того, что при сгорании серы образуется сернистый газ  $\text{SO}_2$  и серный ангидрид  $\text{SO}_3$ , которые, вступая в реакцию с сконденсировавшейся водой. Образуют сернистую  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и серную  $\text{H}_2\text{SO}_4$  кислоты. Эти кислоты вызывают сильную коррозию деталей цилиндропоршневой группы дизеля. Помимо этого, вследствие низкой теплоты сгорания присутствие серы уменьшает теплоту сгорания топлива. Поэтому сера является вредной и нежелательной примесью топлива.

Кроме того, использование сернистых топлив напрямую связано с выполнением экологических требований, предъявляемым к судовым ДВС. Так, Приложением IV международной конвенции MARPOL73/78 определены специальные районы, в которых возможно использование лишь топлива, содержащим не более 0,1 % серы. Эксплуатация судовых ДВС (как главных, так и вспомогательных) в таких районах возможна только на дистиллатных топливах, например DMX, DMA, DMZ (Marine Gas Oil — MGO) или DMB (Marine Diesel Oil — MDO). При этом следует учитывать, что нефтеперерабатывающая промышленность в настоящее время еще не готова к производству топлив с подобным содержанием серы, а на рынок поступает топлива, содержащие до 3 % серы.

Применение топлива подобного состава ухудшает качество процесса сгорания, что, в том числе, приводит к повышенному износу деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), цилиндрических крышек, выпускных клапанов, а также прогоранию лопаток газотурбонагнетателей и элементов газораспределительного тракта.

Повышенный износ деталей ЦПГ при работе двигателя на сернистом топливе обусловлен главным образом электрохимической кислотной коррозией. Пары серной кислоты конденсируются на зеркале втулки цилиндра в процессе расширения в цилиндре, образуя вместе с конденсатами водяных паров растворы серной кислоты. Интенсивность кислотной коррозии возрастает при обводнении топлива и нарушении режимов охлаждения цилиндров и наддувочного воздуха. Кроме того, тяжелые сорта топлива характеризуются наличием нефтяной золы, в состав которой входят натрий, ванадий, никель, кальций, железо, алюминий. Пятиокись ванадия  $\text{V}_2\text{O}_5$ , также как окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , является сильным катализатором окисления  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , поэтому их присутствие в топливе усиливает коррозионный износ деталей ЦПГ.

Для судовых малооборотных дизелей, имеющих отдельную систему цилиндрического смазывания, нейтрализация образующихся в цилиндре серной и сернистой кислоты происходит за счет

использования щелочных присадок. Судовые СОД используют для смазывания деталей ЦПГ масло циркуляционной системы, в функциональные характеристики которого не заложена задача нейтрализации кислотной среды в цилиндре и поэтому более подвержены коррозионному износу. Кроме того, аэродисперсное смазывание ЦПГ СОД способствует попаданию сернистых соединений топлива в картерное пространство дизеля и ухудшению качества смазочного масла.

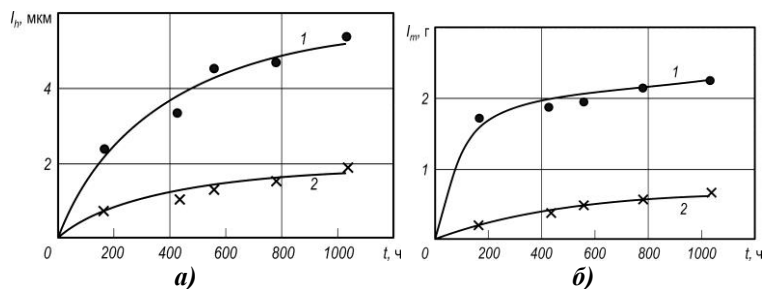
Учитывая изложенное, основной целью работы являлось определение влияния содержания серы в топливе на износ цилиндропоршневой группы судового СОД, а также на экологические параметры его работы.

Исследования выполнялись на судовых СОД 6Г74 фирмы «Русский дизель», имеющих следующие основные характеристики: номинальная эффективная мощность  $N_e = 1150$  кВт, частота вращения вала  $n = 500$  об/мин, удельный эффективный расход топлива  $b_e = 0,196$  кг/(кВт·ч) и входящих в состав главной дизель энергетической установки морского теплохода.

В состав судовой энергетической установки входили два подобных дизеля. Двигатели имели разделенную друг относительно друга систему топливоподачи, что допускало эксплуатацию каждого дизеля на «своем» сорте топлива. Учитывая эту возможность, один из дизелей эксплуатировался на топливе, содержащем 1,3 % серы, а второй — 0,8 % серы. Условия эксплуатации позволяли перед началом эксперимента произвести полную замену втулок, поршней, поршневых колец, а также основных элементов топливной аппаратуры (плунжеров топливных насосов высокого давления и форсунок) на обоих дизелях. Время работы дизелей во время эксперимента, а также среднестатистические нагрузки на дизели не превышали 4 %.

По истечении определенного времени работы, определяемого как показателями среднестатистической наработки на износ, так и возможностью временного вывода дизелей из эксплуатации, производилось определение износа цилиндрической втулки и верхнего поршневого кольца дизеля.

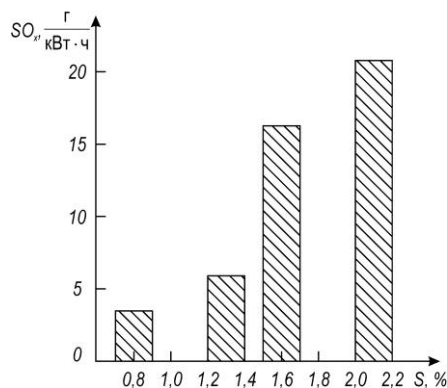
Влияние содержания серы в топливе на коррозионный износ деталей ЦПГ (втулок и поршневых колец) изложено в [2] и может быть продемонстрировано зависимостями, показанными на рис. 1.



**Рисунок 1. Износ цилиндрических втулок (а) и поршневых колец (б) судового ДВС 6Г74 при работе на топливе с различным содержанием серы: 1 —  $S = 1,3\%$  по массе; 2 —  $S = 0,8\%$  по массе**

Определение линейного износа  $I_h$  выполнялось с помощью микрометрического обмера втулки цилиндра, а массового  $I_m$  — путем взвешивания поршневого кольца на аналитических весах в судовой лаборатории.

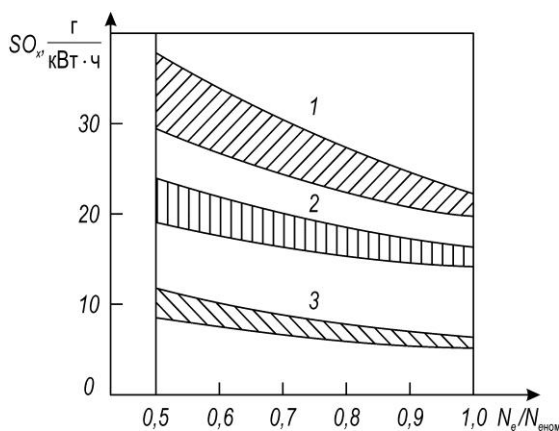
Измерения количества оксидов серы  $SO_x$  в выпускных газах проводилось для отдельно взятого дизеля 6Г74, последовательно работающего на топливе с различным содержанием серы. При этом, использовались топлива, содержащие следующее количество серы: 2,1; 1,6; 1,3; 0,8 % по массе. Результаты исследований приведены на рис. 2.



**Рисунок 2. Зависимость содержания  $SO_x$  в выпускных газах судового дизеля 6Г74 при его работе на топливе с различным содержанием серы**

Зависимость  $SO_x$  от содержания серы в топливе  $S$  не имеет строгой графической зависимости и может быть аппроксимирована полиномом сложной степени, однако очевидно, что снижения массовой доли серы в топливе способствует улучшению экологических параметров работы дизеля.

Современные требования судовладельцев и фрахтователей судов вынуждают судовую экипаж минимизировать расходы на топливо. Одним из вариантов решения данной задачи является эксплуатация судового пропульсивного комплекса на режимах экономичного хода ECR (Economy Continuous Rating). При этом мощность экономичного хода определяется из интервала  $N_{ex} = (0,5 \dots 0,7)N_{ном}$ . Данные режимы, безусловно, позволяют существенно снизить затраты на топливо, однако способствуют ухудшению экологических параметров работы дизеля. В связи с этим во время эксперимента также определялось изменение уровня выбросов  $SO_x$  в функции от нагрузки дизеля при его работе на топливе с различным содержанием серы. Полученные зависимости приведены на рис. 3.



**Рисунок 3. Области изменения содержания  $SO_x$  в выпускных газах судового дизеля 6Г74 при его работе на топливе с различным содержанием серы: 1 —  $S = 2,1\%$ ; 2 —  $S = 1,6\%$ ; 3 —  $S = 1,3\%$**

Из приведенных результатов возможно сделать следующие краткие выводы.

Применение топлив с повышенным содержанием серы способствует увеличению коррозионного износа деталей ЦПГ. Минимизация этого явления особенно актуальна для судовых СОД, имеющих общую

для всего двигателя циркуляционную систему смазывания, масла которой не содержат щелочных присадок для нейтрализации серноокислотной среды в цилиндре дизеля.

Кроме увеличения коррозионного износа деталей ЦПГ наличие серы в топливе приводит к ухудшению экологических параметров работы дизеля и, в частности, повышению концентрации оксидов серы в выпускных газах.

### **Список литературы:**

1. Пахомов Ю.А., Коробков Ю.П., Дмитриевский Е.В. Топливо и топливные системы судовых дизелей. М.: Транслит, 2007. — 496 с.
2. Сагин С.В., Солодовников В.Г. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа деталей двигателя / «Технические науки — от теории к практике» // Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). Новосибирск: СибАК, 2014. — С. 42—49.

## СЕКЦИЯ 4.

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

#### РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

*Нечаева Светлана Александровна*

*студент 5 курса, кафедра товароведения и экспертизы качества  
Омского государственного института сервиса,  
РФ, г. Омск*

*E-mail: [svetikkr5@mail.ru](mailto:svetikkr5@mail.ru)*

*Долгова Елена Юрьевна*

*канд. тех. наук, доцент  
Омского государственного института сервиса,  
РФ, г. Омск*

### DEVELOPMENT OF THE METHOD OF DETERMINATION OF FIREPROOF PROPERTIES OF MATERIALS

*Nechayeva Svetlana*

*student of the 5th course, chair of commodity and examination of quality  
of Omsk state institute of service,  
Russia, Omsk*

*Dolgova Elena*

*candidate technical of sciences, associate professor  
of Omsk state institute of service,  
Russia, Omsk*

#### АННОТАЦИЯ

Разработана методика определения огнезащитных свойств материалов, изготовлена установка для проведения испытаний.

## ABSTRACT

The technique of determination of fireproof properties of materials is developed, installation for carrying out tests is made.

**Ключевые слова:** метод испытания; горючесть; воспламеняемость; огнезащитные свойства; облицовочные и отделочные материалы; текстильные материалы; защитная одежда.

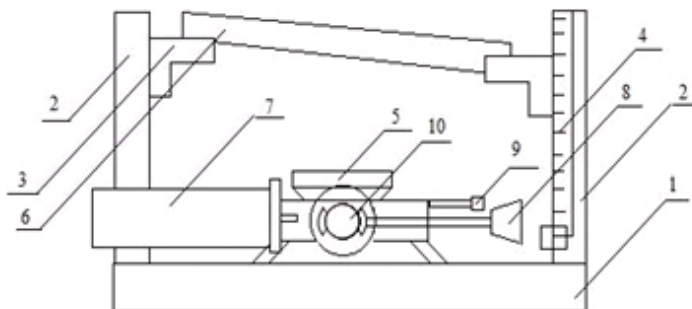
**Keywords:** test method; combustibility; inflammability; fireproof properties; facing and finishing materials; textile materials; protective clothes.

Существующие в настоящее время методики определения огнезащитных свойств материалов являются очень трудоемкими и требуют наличия специальных помещений и сложного оборудования [2, с. 5—6].

В лабораторных условиях, в отсутствии сложного оборудования, предлагается использовать упрощенную схему проведения испытаний на горючесть и воспламеняемость негабаритных образцов материалов, позволяющую получить предварительные результаты. В дальнейшем, образцы могут пройти полную проверку по существующим стандартным методикам.

С этой целью разработана и изготовлена установка для проверки огнезащитных свойств материалов (далее — установка).

Установка может быть использована для проверки огнезащитных свойств материалов, применяемых в строительстве, облицовочных и отделочных материалов, тканей, материалов защитной одежды, обуви, противопожарного снаряжения и т. д. Схема установки приведена на рисунке 1.



*Рисунок 1. Вид установки спереди*

Установка состоит из металлической станины (1), металлического каркаса, выполненного в виде вертикальных стоек (2), на каждой из которых смонтированы перемещаемые металлические держатели (3), между которыми закреплены концы испытуемого образца (6), горелки (5), металлической масштабной линейки (4), установленной вертикально на каркасе и служащей для контроля высоты факела пламени и высоты размещения испытуемого образца. К установке подсоединяется баллон с бытовым газом (7) (кроме бытового газа для испытания может использоваться твердое топливо (таблетки из сухого спирта), размещаемое на горелке, но в этом случае будет отсутствовать возможность регулировки высоты факела пламени). Подача газа на горелку осуществляется с помощью ручки регулировки (8), поджиг пламени осуществляется клавишей зажигания искры (9). Требуемая высота факела пламени устанавливается ручкой регулировки подачи газа. Для проведения испытаний также потребуется секундомер с целью фиксации времени начала возгорания и остаточного горения испытуемого образца.

При проведении испытаний в лабораторных условиях должны строго соблюдаться следующие меры безопасности: установка должна размещаться в огнезащитном шкафу, оборудованном принудительной вытяжной вентиляцией для отвода продуктов горения, место проведения испытаний должно быть оснащено огнетушителем и куском негорящей асбоцементной ткани для предотвращения пожара.

На разработанной установке могут производиться следующие измерения: высоты факела пламени, времени начала испытания, времени начала воспламенения испытуемого образца, времени остаточного горения испытуемого образца материала после удаления источника воспламенения, потери массы материала.

Подготовку к испытаниям производят следующим образом. Подготавливают 2 образца исследуемого материала длиной 33 см, шириной не менее 4,5 см. Если в испытании предполагается использовать пакеты образцов, то их располагают только горизонтально, предварительно соединив между собой стальной проволокой диаметром не менее 0,5 см.

С двух сторон образца на расстоянии 3 см от края образца делают по 2 отверстия диаметром 0,5 см с расстоянием между ними 2 см для закрепления образца на вертикальных стойках.

Образец закрепляется на вертикальных стойках на максимальной высоте 17 см от поверхности газовой горелки. Так как в соответствии с условиями испытаний внешняя поверхность образца должна находиться в зоне верхней части языка пламени (участок с максимальной



температурой), при недостаточной высоте языка пламени (при использовании сухого топлива) образец может закрепляться на вертикальных стойках на высоте меньшей, чем 17 см. К редуктору газовой горелки перед началом испытаний подсоединяют портативный баллон с бытовым газом.

Непосредственно испытания материала или пакета материалов проводится следующим образом. Поворотом ручки регулировки подачи газа в направлении против часовой стрелки с одновременным нажатием клавиши зажигания искры поджигается газ в горелке. Требуемая высота факела пламени устанавливается ручкой регулировки подачи газа и должна соответствовать 17 см. При недостаточной высоте факела пламени газовая горелка выключается и образец закрепляется на вертикальных стойках на высоте меньшей, чем 17 см с тем условием, чтобы внешняя часть образца находилась в зоне верхней части пламени.

С началом испытаний включается секундомер для измерения времени начала и продолжительности горения образца.

Если материал (пакет материалов) не загорелся, то после 300 с испытаний газовая горелка выключается. Если присутствует открытое пламя на образце, то с помощью секундомера фиксируется время его появления и производится измерение продолжительности самостоятельного горения (тления).

Образец извлекают из установки, предварительно потушив его огнетушителем (в случае образования пламени).

После извлечения образца с помощью лабораторных весов измеряется потеря массы материала (в %) по формуле:

$$\Delta m = (m_n - m_k) * 100\% / m_n$$

где:  $m_n$  — масса образца до испытания, мг;

$m_k$  — масса образца после испытания, мг.

Изменения внешнего вида испытуемого образца оценивается органолептическим способом.

Результаты измерений заносятся в таблицу измерений.

Впоследствии вычисляется среднее значение проведенных измерений, определяется принадлежность испытуемого образца к той или иной группе горючих или негорючих материалов на основании таблицы 1 в соответствии с ГОСТ 30244-94 [1, с. 1—2].

*Таблица 1.*

**Группы горючести**

Группа горючести материалов	Параметры горючести	
	Степень повреждения по массе, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	<20	0
Г2	<50	<30
Г3	<50	<300
Г4	>50	<300

*Примечание: Для материалов групп горючести Г1-Г3 не допускается образование горящих капель расплава при испытании*

Оценка воспламеняемости образца материала производится по времени начала горения поверхности образца в течение 10 с. от начала воздействия на него пламени горелки (таблица 2).

*Таблица 2.*

**Группы воспламеняемости**

Группа воспламеняемости материала	Время начала горения поверхности образца (с)
В1 (трудно или невоспламеняемые)	> 10
В2 (умеренновоспламеняемые)	<10
В3 (легковоспламеняемые)	<5

**Выводы**

Разработанная установка позволяет определить огнезащитные свойства материалов. Она может использоваться для исследования применяемых в строительстве облицовочных и отделочных материалов, некоторых материалов легкой промышленности.

Данная установка может быть использована в обучающем процессе по исследованию горючих и воспламеняющихся свойств различных материалов.

### **Список литературы:**

1. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. Взамен СТ СЭВ 2437-80; введ. постановлением Минстроя РФ, 1995 г. — 18 с.
2. Строительные нормы и правила: СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. Нормативно-технический материал. М.: [б.и.], 1997. — 38 с.

## СЕКЦИЯ 5.

### ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

#### ПОСТРОЕНИЕ ИНДЕКСА ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОЦЕССА

**Босов Аркадий Аркадиевич**

*д-р техн. наук, профессор кафедры «Прикладная математика»,  
Днепропетровский национальный университет железнодорожного  
транспорта имени академика В. Лазаряна,  
Украина, г. Днепропетровск  
E-mail: [AABosov@i.ua](mailto:AABosov@i.ua)*

**Лоца Петр Алексеевич**

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроподвижной состав  
железных дорог», Днепропетровский национальный университет  
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,  
Украина, г. Днепропетровск  
E-mail: [dnepr339@gmail.com](mailto:dnepr339@gmail.com)*

#### CREATION OF AN INDEX OF ARBITRARY PROCESS

**Arkady Bosov**

*doctor of Engineering, professor of department «Applied mathematics»,  
Dnipropetrovsk national university of railway transport  
named after academician V. Lazaryan,  
Ukraine, Dnepropetrovsk*

**Peter Loza**

*candidate of Science, associated professor of department  
«Electric rolling stock of the railroads», Dnipropetrovsk national  
university of railway transport named after academician V. Lazaryan,  
Ukraine, Dnepropetrovsk*

## АННОТАЦИЯ

В предлагаемой работе осуществляется объединение двух методов: метода главных компонент и метода анализа иерархий.

Предложен алгоритм построения индекса по наблюдаемым показателям.

При построении индекса произвольного процесса удалось избавиться от субъективизма экспертов используя метод анализа иерархий.

Если процесс является управляемым, то получаем возможность оценки, как принимавшихся решений, так и определения рациональных решений в определенном смысле на исследуемый процесс.

## ABSTRACT

In offered work is carried out join of two methods: method of the principal components and method of the analysis of hierarchies.

The algorithm of creation of an index of observed indexes is offered.

At creation of an index of the arbitrary process, succeeded to get rid of subjectivity of experts, using a method of the analysis of hierarchies.

If process is operated, we have an assessment opportunity, both made decisions, and definition of rational decisions in a sense of studied process.

**Ключевые слова:** метод главных компонент; анализ иерархий; индекс процесса.

**Keywords:** method of the principal components; analysis of hierarchies; process index.

Многие процессы или явления, протекающие во времени, характеризуются несколькими показателями, и тогда возникает задача, с помощью линейных преобразований, определить такие показатели, которые между собой не коррелировали, но незначительное их число с достаточной степенью точности описывало бы исходный процесс.

Пусть в любой момент времени некоторый процесс характеризуется набором показателей  $x_i, i = \overline{1, n}$ .

Тогда возникает задача введения некоторого индекса, который бы с определенной степенью точности отражал бы поведение процесса во времени.

Если в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_m$  фиксировались значения показателей, то располагаем матрицей значений показателей. Данная

матрица имеет  $n$  строк и  $m$  столбцов, а  $x_{ij}$  будет представлять собой значение показателя  $x_i$  в момент времени  $t_j$ .

Процедура построения индекса будет состоять из двух этапов.

На первом этапе с помощью линейных преобразований переменных  $x_i, i = \overline{1, n}$  определяются новые показатели  $z_i, i = \overline{1, n}$  такие, что они между собой не коррелируют [5].

Другими словами, основными являются соотношения

$$x_i = \sum_{r=1}^n w_{ir} z_r, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

или в матричной форме

$$x = WZ \quad (2)$$

Как показано в работе [1] первоначально приходим к переменным  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , которые удовлетворяют равенствам

$$y = U'x, x = Uy,$$

где:  $U$  — ортогональная матрица.

Если  $u_1$  первый столбец матрицы  $U$ , то его выбираем так, чтобы дисперсия  $y_1$  была бы максимальной. После чего выбираем второй столбец  $u_2$ , так чтобы дисперсия  $y_2$  была бы максимальной, и выполнялось условие некоррелированности  $y_2$  с  $y_1$ .

Аналогично процедура продляется далее, и если мы работаем с  $y_r$ , то накладывается условие некоррелированности  $y_r$  с  $y_1, y_2, \dots, y_{r-1}$ .

Если  $\lambda_r$  дисперсия  $y_r$ , а  $A$  ковариационная матрица  $x$ , то учитывая

$$y_r = u_r' x$$

получим

$$\lambda_r = u_r' A u_r.$$

Поскольку  $y_i$  некоррелированная, то имеет место

$$u_r' A u_s = 0, r \neq s,$$

а это означает, что матрица

$$\Lambda = U' A U$$

является диагональной с элементами  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ .  
Более того имеет место

$$A u_r = \lambda_r u_r, r = \overline{1, n},$$

тогда нормируя  $y_r$  получаем  $r$ -тую главную компоненту  $z_r$ .  
Соотношение (2) теперь можно записать в виде

$$x = U \Lambda^{1/2} z,$$

т. е. матрица  $W$  будет следующей

$$W = U \Lambda^{1/2}.$$

Если вместо ковариационной матрицы  $A$  использовать корреляционную, то тогда имеет место

$$\sum_{r=1}^n \lambda_r = n$$

Выбирая первые  $k$  главных компонент, получим, что они описывают следующую долю разброса исходных показателей

$$\frac{1}{n} \sum_{r=1}^k \lambda_r,$$

тогда вместо  $X$  вводя  $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$  главных компонент с заданной точностью описываем изучаемый процесс.

На втором этапе производим линейную свертку  $k$  главных компонент по методу анализа иерархий [4].

Существенным элементом данного метода является построение матрицы попарных сравнений  $A$ , элементы которой должны обладать свойствами:

1) все  $a_{ij} > 0$ ;

2) все  $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ ;

3) все  $a_{ik} a_{kj} = a_{ij}$  (свойство совместности);

4) максимальное собственное значение матрицы  $A$  должно быть равно  $n$ .

В работе [2] показано, что если задана первая строка матрицы  $A$

$$a_{ij} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, i = \overline{2, n}, j = \overline{1, n},$$

т. е.  $1, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$ , то положив

все

четыре свойства матрицы  $A$  будут выполнены, а компоненты собственного вектора с максимальным собственным значением вычисляются по формуле



$$w_i = \frac{a_{1n}}{a_{1i}}, i = \overline{1, n}$$

Если  $z_1, z_2, \dots, z_k$  главные компоненты, определяемые по методу главных компонент, а  $s_1, s_2, \dots, s_k$  дисперсии разброса описываемые главными компонентами, то положив первую строку матрицы  $A$  по формуле

$$a_{11} = 1; a_{12} = \frac{s_2}{s_1}, \dots, a_{1i} = \frac{s_i}{s_1}, i = \overline{1, k}$$

получаем возможность вычисления  $w_i, i = \overline{1, n}$ , и после нормировки индекс процесса будет равным

$$z = \sum_{i=1}^k w_i z_i \quad (3)$$

Таким образом, комбинируя метод главных компонент и метод анализа иерархий, получаем индекс процесса (3) как некоторую функцию исходных показателей.

В качестве примера рассмотрим индекс социальных последствий работы железной дороги. Показатели их значения за период с 2001 по 2012 годы представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

## Справка о выделении средств железной дорогой на социальные нужды (тыс. грн.)

№ п/п	Наименование	год											
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Численность работников, чел.	67618	66066	66045	65047	64922	64837	63375	63757	62298	61122	60445	58654
2	Фонд оплаты труда, тыс. грн.	435020	549822	656933	766582	903139	1140860	1403447	1835556	1883050	2098018	2371558	2646323
3	Средняя заработная плата, грн.	536	694	829	982	1159	1466	1845	2399	2519	2860	3270	3760
4	Производительность труда, тыс. т-км на 1 работн.	1163	1154	1279	1320	1271	1329	1546	1516	1252	1388	1541	1556
5	Материальная помощь не работающим, грн	9946	22602	21751	29403	30392	18255	12308	17274	14504	14248	16515	27059
6	Материальная помощь на оздоровление, грн	7020	7823	11027	12628	17930	22030	28608	37712	44165	54206	58634	64990
7	Оказание мат. помощи при выходе на пенсию	6660	5596	2930	4414	5250	8769	14245	18829	21472	21490	76277	23869
8	Финансовая поддержка оздоровит. спортивно-культурным заведениям, детским жел. дорогам	2278	6662	5970	6332	11464	12739	20600	18947	20132	22886	24860	28854

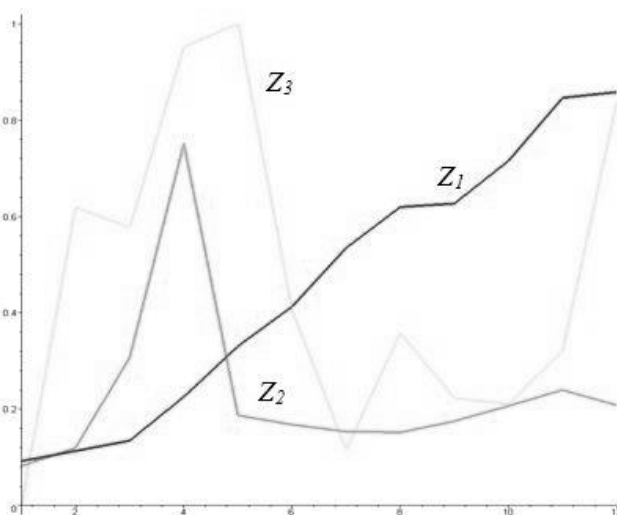
9	Мат. помощь медицинским заведениям	3960	3987	3490	11418	9834	8634	9945	10001	13246	13640	13965	12744
0	Мат. помощь учебным заведениям	1832	2737	7798	19437	2325	1668	425	94	37	148	0	0
11	Бесплатные билеты для личных потребностей работающих	0	0	0	0	10237	10802	11170	13728	18124	18519	24729	34060
12	Бесплатные билеты для личных потребностей неработающих	0	0	0	0	3634	3415	3600	3725	4852	5257	6764	4062
13	Отчисления профсоюзу, в том числе	6316	5131	4996	8997	11343	20750	21362	25917	24281	27255	29345	31490
14	-отчисления профсоюзным орг. на провед. культ.-масс. и спортивной работы	546	1641	2882	4337	5382	6132	6192	7800	7195	7695	8282	8295
15	-удешевление стоимости путевок в оздоровит. учреждения железной дороги	1284	2190	1196	3847	4463	8003	12412	13723	13288	15360	16671	17991
16	- санаторные путевки	1150	1300	918	813	1498	1738	2758	3000	3500	4200	4392	5204

Как следует из таблицы 1, число показателей  $n = 16$ , а число наблюдений (годов)  $m = 12$ .

При числе наблюдений равных 12, критический коэффициент корреляции  $Kp = 0.58$  (см. [3] таблица XII)

Задавшись долей описываемого разброса данных  $\alpha = 0.9$ , по методу главных компонент определяем число главных компонент, которые описывают 16 показателей.

На рисунке 1 представлены три главные компоненты.



**Рисунок 1. Главные компоненты** ( $z_1, z_2, z_3$ )

Компонента  $z_1$  описывает  $s_1 = 0.765$  разброса данных, а  $z_2$  имеет  $s_2 = 0.091$ , компонента  $z_3$  имеет  $s_3 = 0.063$ .

Далее используем метод анализа иерархий, полагая

$$a_{11} = 1; a_{12} = \frac{s_2}{s_1}; a_{13} = \frac{s_3}{s_1},$$

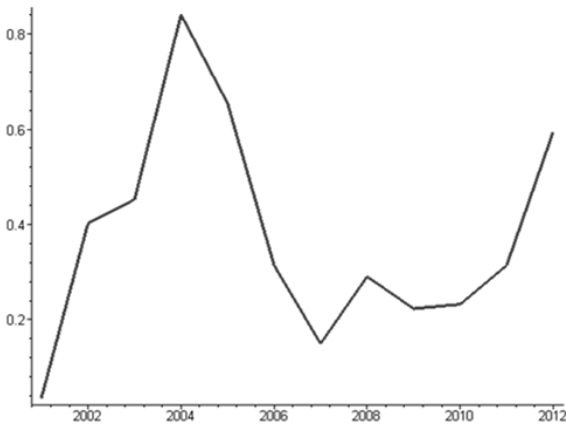
которым соответствуют следующие веса главных компонент

$$w = [0.046, 0.387, 0.566]$$

С помощью данных весов строим индекс социальных последствий по формуле

$$z = w_1 z_1 + w_2 z_2 + w_3 z_3$$

График данного индекса представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2** Индекс социальных последствий работы железной дороги в период с 2001 по 2012 годы

Как следует из рисунка 2, начиная с 2004 года, имеет место падение индекса по 2007 год, а с 2007 года индекс постепенно возрастает. Хотя с 2008 по 2009 год он незначительно упал, а далее наблюдается его рост.

Отмеченные колебания вполне можно объяснить ситуациями в стране, которые происходили в рассматриваемый период времени.

В итоге, можно сказать, что для дискретных процессов предложен метод построения его индекса. Данный метод представляет собой комбинацию метода главных компонент и метода анализа иерархий. В предлагаемом методе исключается субъективизм экспертов, с помощью использования дисперсий для главных компонент.

Предложенный метод используется для расчета индекса социальных последствий работы железной дороги.

Данный метод может быть использован для оценки мероприятий, посвященных социальной сфере и определения такого набора мероприятий, которые укладываются в заданные объемы финансирования и максимально улучшающих социальную сферу.

### **Список литературы:**

1. Лоули Д. Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. М.: Мир, 1967. — 144 с.
2. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В.Д. Ногин. СПб., 2004. — 16 с.
3. Плохинский Н.А. Биометрия. / Н.А. Плохинский Из-во Московского университета, 1970, — 367 с.
4. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий. / Т. Саати. М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
5. Pearson K. On lines and planes of closest fit to system of points in space. Phil. Mag.2, 6th series, 1901, — p. 557—572.

## СЕКЦИЯ 6.

### АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### БИФУРКАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЗОН

*Кузьмин Александр Григорьевич*

*д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник  
-Петербургского государственного университета,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [alexander.kuzmin@pobox.spbu.ru](mailto:alexander.kuzmin@pobox.spbu.ru)*

*Матюхина Ирина Анатольевна*

*программист  
Крыловского государственного научного центра,  
РФ, г. Санкт-Петербург*

#### TURBULENT FLOW BIFURCATIONS IN A CHANNEL DUE TO THE INTERACTION OF SUPERSONIC ZONES

*Alexander Kuzmin*

*Dr.Sc., Head Researcher, St. Petersburg State University,  
Russia, St. Petersburg*

*Irina Matyukhina*

*programmer, Krylov State Research Center,  
Russia, St. Petersburg*

#### АННОТАЦИЯ

Выполнено численное моделирование двумерного потока в канале переменного сечения. Прилегающая к входу в канал сверхзвуковая зона замыкается криволинейной ударной волной, за которой формируется зона дозвуковых скоростей. Ниже по течению скорость потока возрастает и становится снова сверхзвуковой. Решения нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу,

получены с помощью вычислительной программы, основанной на методе конечных объемов. Изучена зависимость положения ударной волны от числа Маха  $M_{in} > 1$ , заданного на входе в канал.

### ABSTRACT

2D turbulent flow in a channel of variable cross section is studied numerically. The flow is supersonic between the inlet and a curvilinear shock wave, behind which a subsonic region forms. Downstream of the subsonic region, the flow velocity rises to supersonic values again. Solutions of the unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes equations are obtained with a finite-volume solver. A dependence of the shock wave location on the inlet Mach number  $M_{in} > 1$  is studied.

**Ключевые слова:** ударная волна; звуковая линия; местные сверхзвуковые зоны; неустойчивость.

**Keywords:** shock wave; sonic line; local supersonic regions; instability.

**1. Введение.** Обтекание аэродинамических профилей потоком воздуха может сопровождаться формированием двух или более местных сверхзвуковых зон [1]. При плавном изменении параметров натекающего потока происходит слияние или расщепление сверхзвуковых зон, что приводит к резкому изменению коэффициента подъемной силы. Данное явление обусловлено тем, что за стационарной ударной волной, замыкающей сверхзвуковую зону, скорость потока дозвуковая, поэтому к ней не может примыкать другая сверхзвуковая зона, расположенная ниже по течению. Следовательно, картина обтекания, в которой две сверхзвуковые зоны касаются в одной точке, может быть только нестационарной. Релаксация по времени должна приводить к более глубокому слиянию сверхзвуковых зон или к их расхождению на конечное расстояние  $D$  друг от друга.

В данной работе вышеуказанное явление изучено на примере турбулентного трансзвукового течения в канале. Исследовано взаимодействие сверхзвуковой зоны, прилегающей к входному сечению, с другой сверхзвуковой зоной, формирующейся ниже по течению.

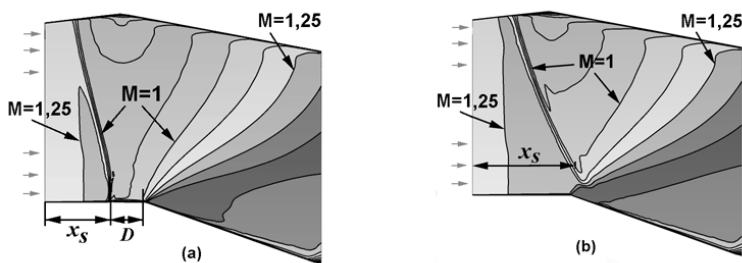
**Постановка задачи и численный метод.** Рассматривается течение воздуха в канале длины 2,2 м с входным сечением  $x=0$ ,  $0 < y < 1,425$  м и выходным сечением  $x=2,2$  м,  $-0,5$  м  $< y < 1,2$  м. Нижняя стенка канала имеет излом в точке  $x=0,8$  м,  $y=0$ , а верхняя — в точке  $x=0,6$  м,  $y=1,5$  м.

На входе заданы значения компонента скорости потока, статическое давление  $p_{in}=50000$  н/м<sup>2</sup> и статическая температура  $T_{in}=250$  К, которой соответствует скорость звука 317,02 м/с при показателе адиабаты 1,4.



На выходе ставится условие сверхзвуковой скорости истечения, а на стенках канала — условия прилипания и отсутствия теплового потока. В качестве начальных данных для потока в канале использовались параметры во входном сечении или поле течения, полученное для некоторого предыдущего значения  $M_{in}$ .

Численные решения системы уравнений Навье-Стокса находились с помощью вычислительной программы ANSYS CFX-15 второго порядка точности на неструктурированных сетках с числом ячеек свыше  $4 \times 10^5$ . Использовалась модель турбулентности  $k-\omega$  SST, которая хорошо описывает турбулентные течения в условиях отрыва пограничного слоя от гладких поверхностей. Тестирование программы проводилось на задаче обтекания транзвуковым потоком профиля RAE 2822 [2] и крыла ONERA M6 [3].



**Рисунок 1.** Изомахи в канале при постоянной скорости потока  $U_{in}$  во входном сечении: а)  $M_{in}=1,170$ , б)  $M_{in}=1,175$

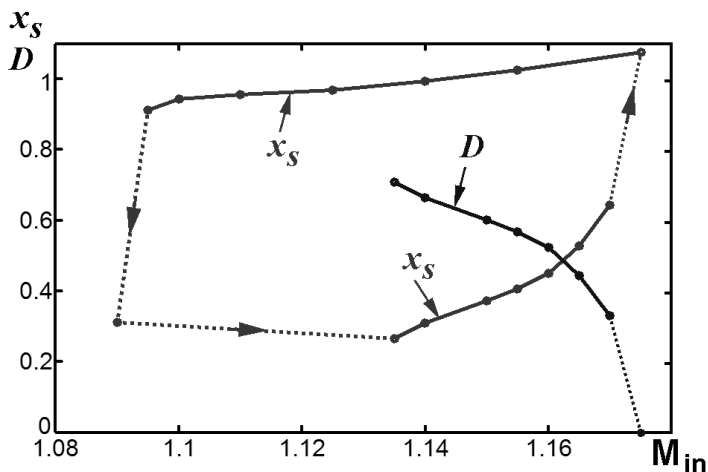
**2. Результаты расчетов.** Было проведено исследование положения ударной волны в канале при разных значениях скорости потока на входе в канал. В первом варианте исходных данных задавалось постоянное значение  $x$ -компоненты скорости  $U_{in}$ . Чтобы в точке  $x=0, y=1,425$  м направление вектора скорости совпадало с направлением верхней стенки канала, использовалась линейная зависимость  $y$ -компоненты  $V_{in}$  от высоты:

$$V_{in} = U_{in} * 0,125 * y / 1,425 . \quad (1)$$

Число Маха во входном сечении на нижней стенке связано с  $U_{in}$  очевидным соотношением  $M_{in} = U_{in} / 317,02$  м/с.

На рис. 1,а представлены полученные линии постоянного числа Маха в канале при  $M_{in}=1,170$ . При этом сверхзвуковые зоны находятся

на расстоянии  $D$  друг от друга. С увеличением  $M_{in}$  до 1,175 происходит резкое слияние местных сверхзвуковых зон, см. рис. 1,б.



**Рисунок 2. Зависимость координаты  $x_s$  ударной волны в канале и расстояния  $D$  между сверхзвуковыми зонами от  $M_{in}$  при постоянной по высоте горизонтальной скорости потока во входном сечении**

В качестве параметра, характеризующего положение ударной волны в канале, используется координата  $x_s$  ударной волны на высоте  $y = 0,18$  м. Как показали расчеты, постепенное уменьшение  $M_{in}$  от 1,175 до 1,095 приводит к смещению ударной волны в направлении к входному сечению канала, так что значение  $x_s$  плавно уменьшается до 0,90 (см. верхнюю сплошную линию на рис. 2). При этом качественная картина течения не изменяется. Однако при дальнейшем уменьшении  $M_{in}$  до 1,170 происходит расщепление сверхзвуковой области на две части вблизи угловой точки нижней стенки, и быстрое перемещение ударной волны вверх по течению. Для предотвращения выхода ударной волны из канала и смены режима течения на входе, значение  $M_{in}$  увеличивалось до 1,135, как показано левой пунктирной линией на рис. 2. Последующее постепенное увеличение  $M_{in}$  от 1,135 до 1,170 приводит снова к течению, представленному на рис. 1,а.

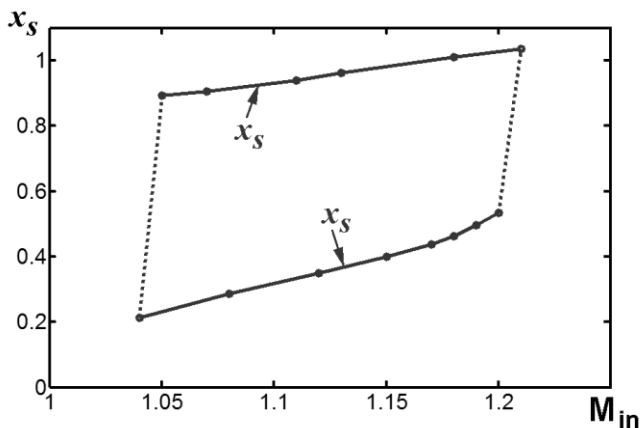
Во втором варианте исходных данных на входе в канал задавался профиль компоненты скорости  $U_{in}$  в виде

$$U_{in}(y) = 317,02 \text{ м/с} * [1,15 + (M_{in} - 1,15)(1 - y/1,425) ], \quad (2)$$

где  $M_{in}$  — число Маха на нижней стенке ( $y=0$ ). Согласно (2) горизонтальная компонента скорости  $U_{in}$  изменяется от  $M_{in} * 317,02$  м/с на нижней стенке до  $1,15 * 317,02$  м/с на верхней стенке (при  $y=1,425$  м). Профиль вертикальной компоненты скорости  $V_{in}$  на входе определяется, как и в предыдущем случае, по формуле (1).

На рис. 3 представлены результаты расчетов координаты  $x_s$  ударной волны на высоте 0,24 м при изменениях параметра  $M_{in}$ . Верхняя сплошная линия показывает постепенное уменьшение величины  $x_s$  при уменьшении  $M_{in}$  от 1,21 до 1,05. Затем происходит расщепление сверхзвуковой зоны и резкое падение  $x_s$  при уменьшении  $M_{in}$  от 1,05 до 1,04. В отличие от первого варианта здесь происходит релаксация к состоянию, в котором ударная волна не выходит за пределы канала. При постепенном увеличении  $M_{in}$  от 1,04 до 1,2 ударная волна смещается вниз по течению в сторону звуковой линии (см. нижнюю сплошную линию на рис. 3). Затем при увеличении  $M_{in}$  до 1,21 происходит резкое слияние сверхзвуковых областей.

Данная работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Ресурсного Центра «Вычислительный центр СПбГУ» (<http://cc.spbu.ru>).



**Рисунок 3. Зависимость координаты  $x_s$  ударной волны в канале от  $M_{in}$  при задании профиля горизонтальной скорости потока во входном сечении по формуле (2)**

### **Список литературы:**

1. Кузьмин А.Г. Бифуркации течения при трансзвуковом обтекании простых профилей с эллиптической и клиновидной носовыми частями // Журнал Прикладной Механики и Технической Физики. — 2010. — Т. 51. — № 1. — с. 22—28.
2. Kuzmin A. Transonic flow past a Whitcomb airfoil with a deflected aileron // Internat. J. of Aeronautical and Space Sciences. — 2013. — Vol. 14, — № 3, — pp. 210—214.
3. Kuzmin A. On the lambda-shock formation on ONERA M6 wing // International Journal of Applied Engineering Research. — 2014. — Vol. 9, — № 20, — pp. 7029—7038.

## СЕКЦИЯ 7.

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВ В КАЧЕСТВЕ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ В ФИБРОАРМИРОВАННЫХ БЕТОНАХ

*Ахмеднабиев Расул Магомедович*

*канд. техн. наук, доцент Полтавского национального  
технического университета имени Юрия Кондратюка,  
Украина, г. Полтава  
E-mail: [arasul49@mail.ru](mailto:arasul49@mail.ru)*

*Ахмеднабиев Расул Расулович*

*младший научный сотрудник, Полтавский национальный  
технический университет имени Юрия Кондратюка,  
Украина, г. Полтава*

#### TO THE QUESTION TO USE THE ASHES AS THE AGGREGATE IN THE FIBER REINFORCED CONCRETE

*Akhmednabiev Rasul*

*Ph.D., associate professor  
of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,  
Ukraine, Poltava*

*Akhmednabiev Rasul*

*junior Researcher  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,  
Ukraine, Poltava*

#### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследований прочности фибробетонов с использованием в качестве мелкого заполнителя одного из видов

золошлаков тепловых электростанций (ТЭС) Донецкого региона Украины. Золошлаки этой ТЭС отличаются низким содержанием несгоревшего угля.

### ABSTRACT

The results of research strength fiber-reinforced concrete using as a fine aggregate of one species of ash of thermal power plants (TPP) in the Donetsk region of Ukraine. Ashes of the TPP have a low content of unburned carbon.

**Ключевые слова:** золошлаки; котлы с циркулирующим кипящим слоем; химический состав; фибробетоны; стальные волокна; прочность при изгибе.

**Keywords:** ash and slag; boilers with a circulating fluidized bed; chemical composition; fiber-reinforced concrete; steel fibers; the flexural strength.

Известны способы использования зол и золошлаков тепловых электростанций в технологии строительных материалов [5]. При сжигании угля в традиционных котлах с кипящим слоем в виде отходов получают золы и золошлаки, в которых количество несгоревшего угля составляет более 10 %. С 2004 г на ТЭС Донецкого региона Украины стали внедрять котлы с циркулирующим кипящим слоем, в которых уголь выжигают полностью при температуре 950—1000 °С. Содержание несгоревшего угля в золах и золошлаках этих котлов не превышает 2—3 %.

Золошлаки представляют собой мелкозернистая масса темно-коричневого цвета, химический состав, которых приведен в таблице 1.

*Таблица 1.*

### Химический состав золошлаков ТЭС

№	Химический состав, %											
	ППП	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
1	0,22	0,84	0,22	42,4	22,14	9,76	1,07	2,97	0,8	6,58	13,76	0,06

Химический состав золошлаков свидетельствует о том, что в качестве побочных пород в углях содержатся глинистые породы с повышенным содержанием оксида железа и карбонатных минералов. Низкие потери при прокаливании свидетельствуют о том, что содержание несгоревшего угля в золошлаках не превышает допустимых величин.

Как мелкий заполнитель для бетонов, золошлаки характеризуются модулем крупности  $M_{кр} = 1,13$ . Однако пористость зерен золошлаков инициирует повышение В/Ц отношения в бетонах.

Важнейшими параметрами волокнистых композиционных материалов, определяющими их физико-механические свойства, являются объемное содержание  $V_f$  и длина волокна  $l_f$ .

Известно, что эффективность работы волокон в фибробетонах зависит от касательных напряжений на поверхности раздела волокно — матрица, которые нами были определены путем выдергивания волокна из матрицы и составляют 5,8 Мпа [1].

Объемное содержание волокна в композите должно быть достаточным для того, чтобы доля нагрузки, воспринимаемая волокнами, была более существенной [2]. Однако при содержании волокна в композите, превышающим некоторый уровень, свойства материала ухудшаются вследствие того, что матрица не в состоянии связывать волокна. В результате в матрице появляются пустоты, излишки волокна в работе материала не участвуют, связь матрицы с волокном ухудшается, и прочность композита падает.

Выражение для определения объемного содержания волокна, ниже которого не следует ожидать существенного улучшения физико-механических свойств волокнистых композитов, приводится в [2].

$$V_f = \frac{\sigma_c}{[\sigma_{su} - (m-1)\sigma_c]}, \quad (1)$$

где:  $\sigma_c$  — напряжение в матрице композита;

$\sigma_{su}$  — эффективная предельная прочность волокна;

$m$  — отношение модулей упругости волокна и матрицы.

Композиты из хрупкой матрицы и волокон при маленьких деформациях сохраняет упругое равновесие. Напряжения в композитах на этой стадии определяются по уравнению

При комбинировании хрупкой матрицы с волокнами при малых деформациях сохраняется упругое равновесие, при котором напряжения определяются по «правилу смесей».

$$\sigma = V_m E_m \varepsilon_m + V_f E_f \varepsilon_f, \quad (2)$$

где:  $V_m$  — доля матрицы в объеме композита;

$E_m$  — начальный модуль упругости матрицы;

$\varepsilon_m$  — деформация матрицы;

$V_f$  — доля волокна в объеме композита;

$E_f$  — модуль упругости волокна;

$\varepsilon_f$  — деформация волокна.

С ростом нагрузки достигаются деформации разрушения матрицы. При этом  $\varepsilon_m < \varepsilon_f$ . Напряжения на этой стадии определяются по формуле [2].

$$\sigma = V_m \sigma_m + V_f E_f \varepsilon_m, \quad (3)$$

На этой стадии матрица разрушается, и нагрузка, которую она несла, перераспределится на волокна, которые также могут разрушаться при условии

$$V_f \sigma_f < V_f E_f \varepsilon_m + V_m \sigma_m. \quad (4)$$

При таких условиях зона разрушения материала ограничена единственной областью, непосредственно примыкающей к зоне образования первой трещины. Такой характер разрушения носит название единичное разрушение [3, 4]. Если волокна достаточно прочны или их содержание в композите достаточно велико, композит не будет полностью разрушен, а будет продолжать нести нагрузку до достижения напряжений  $V_f \sigma_f$ . В течение этого последующего нагружения более хрупкая матрица будет продолжать разрушаться на все более мелкие части. Это явление характеризуется как множественное разрушение [3, 4]. Так как матрица хрупкая, переход от единичного разрушения к множественному произойдет при условии

$$V_f \sigma_f = \sigma'_f V_f + \sigma_m V_m, \quad (5)$$

где  $\sigma'_f$  — напряжения в волокне при разрушении матрицы. Таким образом, объемное содержание волокна, при превышении которого произойдет множественное разрушение композита, определяется из уравнения [3, 4].

$$V_f \sigma_f - \sigma'_f V_f = \sigma_m V_m, \quad (6)$$

Необходимо отметить, что приведенные выражения для определения объемного содержания волокна выведены для случая однонаправленных композиционных материалов. Однако известно, что в композитах с произвольно ориентированными волокнами в работе материала участвуют лишь 41 % волокон [6], поэтому



рассчитанные параметры волокнистых композитов следует увеличить в 2,43 раза.

Для композитов, исследованных в данной работе объемное содержание волокна, определенного по формуле (1) составляет  $V_f = 0,0072$ , или 0,7 %. Однако с учетом того, что в композитах с произвольной ориентацией волокон, каким является исследуемый композит, в работе участвуют только 41 % всех волокон [6],  $V_f = 0,17$  или 1,7 %.

При достижении деформации разрушений матрицы, напряжения, передающиеся к волокнам, определены по формуле (3)  $\sigma = 8,7$  Мпа.

При проверке условия разрыва волокон по формуле (4), получаем

$$V_f \sigma_f < V_f E_f \varepsilon_m + V_m \sigma_m = 8,5 < 8,69$$

Таким образом, композит будет разрушаться вследствие образования одной первоначальной трещины.

Объемное содержание волокна, при котором композит испытает множественное разрушение, определенное по формуле (6) составляет

$$V_f = \frac{\sigma_m V_m}{\sigma_f - \sigma'_f} = \frac{6.4 * 0.983}{500 - 8.7} = 0.013:$$

С учетом поправки на количество волокон, участвующих в работе композита всего 41 % ,

$$V_f = 0,032 \text{ или } 3,2 \text{ \%}.$$

Для вышеприведенных вычислений заранее были определены соответствующие свойства матрицы на образцах без волокон.

На основе вышеприведенных расчетов, нами исследовались композиты, наполненные стальными волокнами. Волокна диаметром 0,2 мм были изготовлены из отработанных стальных тросов. Матрица представляла собой мелкозернистый бетон на основе портландцемента марки 500, в котором в качестве мелкого заполнителя были использованы золошлаки котлов с циркулирующим кипящим слоем.

В качестве крупного заполнителя был использован гранитный щебень крупностью зерен 5 мм.

В бетонах в качестве пластификатора был использован гиперпласти-фикатор на основе модифицированных карбоксилатов «Глениум- 51» от фирмы BASF.

Для снижения объемов работ и прогнозирования влияния объемного содержания и длины волокон на свойства строительных композитов, была реализована трехфакторная матрица планирования эксперимента. Условия планирования эксперимента приведены в таблице 2.

**Таблица 2.**

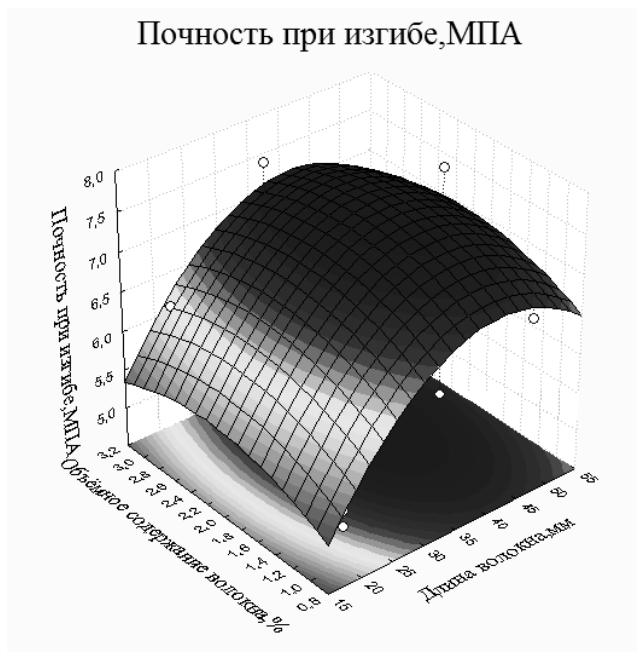
**Условия планирования эксперимента**

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Длина волокна, мм	$X_1(l_f)$	20	35	50	15
Объемное содержание, %	$X_2(V_f)$	1	2	3	1
Содержание добавки, %	$X_3(D)$	0,6	1	1,4	0,4

Всего были изготовлены 17 серий образцов кубиков со стороной 10 см и призм 10 x 10 x 40 см. Приготовление бетонной смеси проходило в лабораторном смесителе принудительного действия емкостью ковша 10 л. Образцы до испытаний хранились в лабораторных условия при температуре 18...20 °С и влажности воздуха 67...75 %. Испытания образцов проводились в возрасте 28 суток на испытательной машине типа ГМС-50.

Статистическая обработка результатов испытаний образцов на статический четырехточечный изгиб в виде поверхности влияния приведена на рис. 1.

Из графика видно, что с увеличением длины волокна до 40...45 мм прочность при изгибе растет до 7,0 МПа. Дальнейшее увеличение длины волокна приводит к снижению прочности при изгибе, хотя даже при длине волокна 55 мм прочность при изгибе больше чем при 20 мм. Этот факт объясняется тем, что с увеличением длины волокна, как и при традиционных заполнителях, увеличивается вероятность образования комьев волокон, из-за повышения вероятности увеличения контактов между волокнами. Образование комьев затрудняет технологию приготовления бетонной смеси, равномерность распределения волокон по объему снижается, прочность композита при этом также снижается.



**Рисунок 1. Зависимость прочности при изгибе от объемного содержания и длины волокна**

Объемное содержание волокна имеет менее выраженное влияние на прочность при изгибе. При длине волокна 20 мм и объемном содержании 1 %, прочность при изгибе композита составляет всего 5,0 МПа. С увеличением объемного содержания при той же длине волокна прочность при изгибе растет, достигая максимума 5,5 МПа при содержании волокна 2,2...2,4 %.

Однако с увеличением длины волокна объемное содержание волокна приобретает большее влияние на прочность при изгибе, и при оптимальной длине волокна 40...42 мм и объемном содержании волокна 2,2...2,4 %, прочность композита растет до 7,5 МПа.

Необходимо отметить тот факт, что, как с увеличением длины волокна, так и с увеличением объемного содержания волокна, затрудняется технология приготовления бетонной смеси. Наблюдается нехватка растворной части смеси для обволакивания волокон. Предел объемного содержания волокон, в пределах эксперимента, составляет 2,4 %, после чего катастрофически снижается однородность смеси.

Проведенные исследования показали, что золошлаки ТЭС, на которых установлены котлы с циркулирующим кипящим слоем, могут быть использованы в качестве мелкого заполнителя для бетонов.

Закономерности влияния волокон на свойства фибробетонов, в матрице которых использованы золошлаки котлов с циркулирующим кипящим слоем, практически остаются такими же, как и при традиционных бетонах.

Однако долговечность этих бетонов нами еще не исследована.

### **Список литературы:**

1. Ахмеднабиев Р.М. Влияние полимерных волокон на свойства чеканочных цементных композиций: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р.М. Ахмеднабиев. М., 1983.
2. Крок Г. Современные композиционные материалы / Крок Г., Браутман Л. М.: МИР, 1970. — 406 с.
3. Куппер Д. Растрескивание и разрушение композитов / Куппер Д., Пигготт М. // Механика разрушения. Т. 17. М.: Мир, 1979. — С. 165—216.
4. Куппер Д. Микромеханические аспекты разрушения / Куппер Д. // Композиционные материалы. Т. 5. М.: Мир, 1978. — С. 440—474.
5. Цементы и бетоны на основе топливных зол и золошлаков / Кривенко П.В. Пушкарева Е.К., Гоц В.И., Ковальчук Г.Ю. К., 2014. — 255 с.
6. Romualdi J.R. Tensile Strength of concrete. Affected by Uniformly Distributed and closely spaced the of Wire Reinforcement / Romualdi J.R. Mandel J.A. // ACI Journal. — 1964. — V. 61. 6. — P. 657.

## СЕКЦИЯ 8.

### СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

#### ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЗА СЧЕТ НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ

***Высочкина Любовь Игоревна***

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Процессы и машины в агробизнесе»  
Ставропольский государственный аграрный университет,  
РФ, г. Ставрополь  
E-mail: [lubasha\\_vis\\_67@list.ru](mailto:lubasha_vis_67@list.ru)*

***Высочкина Татьяна Николаевна***

*студент 5 курса факультета агробиологии и земельных ресурсов  
Ставропольский государственный аграрный университет,  
РФ, г. Ставрополь  
E-mail: [tanechka-106@mail.ru](mailto:tanechka-106@mail.ru)*

#### INCREASING CROP YIELDS DUE TO ACCUMULATION OF MOISTURE IN THE SOIL

***Vysochkina Lyubov***

*Ph.D., Associate Professor  
of "Processes and machines in agribusiness"  
Stavropol State Agrarian University,  
Russia, Stavropol*

***Vysochkina Tatyana***

*5th year student of the Faculty of Agrobiology and land resources  
Stavropol State Agrarian University,  
Russia, Stavropol*

## АННОТАЦИЯ

Целью статьи является обоснование содержания влаги в почве для обеспечения растений в критические периоды их развития: бутонизация, цветение, налив зерна. Автор обосновывает, что при планировании поливов следует учитывать, что расход воды с гектара увеличивается при увеличении количеств растений на гектар и увеличения надземной массы растений; при понижении влажности воздуха, увеличении температуры и скорости ветра; при ухудшении условий питания. В статье указывается, что глубокое промачивание почвы улучшает минеральное питание растений.

## ABSTRACT

The aim of the article is to validate the soil moisture content for plants during critical periods of their development: budding, flowering, ripening grain. The author proves that the planning of irrigation should be noted that water consumption per hectare is increased by increasing the number of plants per hectare and an increase in above-ground plant mass; at low humidity, increasing temperature and wind speed; when conditions deteriorate supply. The article states that a deep soaking of the soil improves the mineral nutrition of plants.

**Ключевые слова:** вода; почва; влагообеспеченность; транспирационный коэффициент; глубокое промачивание.

**Keywords:** water; soil; moisture content; transpiration rate; a deep soaking.

Водоснабжение растений происходит за счет влаги, имеющейся в почве, поэтому одной из основных задач агротехники является поддержание влажной почвы на уровне, требующемся для нормальной жизнедеятельности растений.

Влажность почвы зависит от многих причин и непрерывно меняется. В одном и том же районе при одинаковом количестве атмосферных осадков влажность почвы различных сельскохозяйственных угодий различна. Различие определяется тем, что расход почвенной влаги осуществляется путем испарения с поверхности почвы и транспирации растений. Испарение и транспирация в свою очередь зависят от характера и состояния поверхности почвы, погоды, вида культуры, фазы её развития, состояния надземной массы, корневой системы и т. д.

Как известно почва состоит из трех основных частей: воздуха, воды и твердых тел. Твердый компонент образует основу почвы и состоит из минеральных и органических веществ. Доля почвы,

занимаемая водой и воздухом, называется — объем пор. Объем пор обычно постоянная для данного слоя почвы, но может быть изменена путем обработки почвы и уплотнения. Отношение воздуха к воде, запасенной в изменениях поры, как вода добавляется или теряется из почвы.

Объем пор на самом деле является резервуаром для хранения воды. Однако не вся вода в резервуаре доступна для использования растениями. Сразу после большого количества осадков все поры заполнены водой. Под действием гравитации часть воды будет перемещаться вниз, ниже корневой зоны, где она становится не доступной для растений, особенно в песчаных почвах, так как процесс перераспределения быстро происходит (в течение двух дней или меньше).

Вода из почвы поступает в корни растений благодаря действию осмотических сил, обусловленных концентрацией в растворе соединений. Концентрация клеточного сока, как правило, значительно выше концентрации почвенной влаги. Помимо осмотических сил корневых клеток, всасывающая способность растений увеличивается осмотическим давлением клеточного сока листьев, постоянно теряющих воду вследствие транспирации.

Всасывающая способность корней достигает 100—200 тыс. Па и более; сорбционные силы значительно больше, поэтому гигроскопическая и пленочная вода в почве недоступна для растений.

Однако растения начинают проявлять признаки завядания до того, как в почве останется только гигроскопическая вода. Отчасти это объясняется тем, что корневые волоски растений, имеющие диаметр около 0,01 мм, не могут использовать влагу из более мелких пор. Исследования последнего времени показали, что различные растения на одной и той же почве начинают вянуть при различной влажности. По данным Д.В. Федоровского, коэффициент завядания различных растений: пшеница — 15,5—16,5 % от веса почвы, огурцы — 17,78 %, лён — 17,97 %.

Для оценки влагообеспеченности растений необходимо знать их потребность во влаге и влагосодержание почвы.

Растение в процессе своего развития потребляет большое количество воды. Транспирационные коэффициенты, как показали наблюдения, в сотни раз превышает вес сухого вещества растения и колеблется в низких пределах.

*Таблица 1.*

**Транспирационные коэффициенты различных сельскохозяйственных культур**

<b>Культура</b>	<b>Транспирационный коэффициент</b>	<b>Культура</b>	<b>Транспирационный коэффициент</b>
Пшеница	217—755	Горох	259—782
Подсолнечник	290—705	Картофель	167—659
Просо	162—447	Кукуруза	174—406
Гречиха	209—736	Сахарная свекла	227—670

По оценке А.М. Алпатьева [1], транспирационные коэффициенты скорее служат показателями пластичности к условиям среды, поэтому полезны и необходимы, особенно при изучении влияния агротехники на продуктивность использования растениями ресурсов влаги. Таким же относительным показателем потребности растений во влаге может служить коэффициент водопотребления, представляющий собой частное от деления всего расхода воды (транспирация + испарение с почвы) на урожай всей органической массы или основной продукции с данного поля.

Коэффициент водопотребления в сильной степени зависит от применения удобрений, плодородия почвы и урожайности. Ниже приводится таблица 2, показывающая необходимое количество воды для формирования урожая на плодородных почвах и бедных в отношении питательных веществ.

Из приведенной таблицы видно, что расход воды растениями на образование урожая колеблется от 80 до 860 м<sup>3</sup>/тонну продукции и при увеличении урожайности снижается.

Таким образом, создавая более благоприятные условия роста и развития растений, т.е. применяя более высокую агротехнику, мы не только повышаем урожай, но и уменьшаем расход воды растениями на образование единицы продукции.



**Таблица 2.**

**Количество воды, необходимое для получения 1 тонны продукции**

№ п/п	Культуры	Урожайность, т/га	Расход воды на тонну продукции, м <sup>3</sup>	
			при высоком плодородии	при низком плодородии
1	Свекла	40—50	80	100
2	Морковь, томаты	35—50	120	140
4	Лук на репку	25—30	130	160
5	Капуста поздняя	30—40	160	210
6	Картофель	20—25	160	200
7	Люцерна 1 года	5—7	610	860
8	Люцерна 2 и 3 года	20—25	270	340
9	Пшеница озимая	4—6	500	700

При планировании поливов следует учитывать, что расход воды с гектара увеличивается при увеличении количества растений на гектар и увеличения надземной массы растений; при понижении влажности воздуха, увеличении температуры и скорости ветра; при ухудшении условий питания.

Необходимо также иметь в виду, что вода при орошении не только понижает температуру листовой поверхности растений, воздуха и почвы, но также снижает концентрацию почвенного раствора, в том числе вредных солей и этим улучшает условия роста растений.

Растения легко усваивают воду, если влажность в корнеобитаемом слое по отношению к абсолютно сухому весу почвы будет не ниже:

- для песчаных почв — 8—9 %;
- для лессовидных суглинков — 19—20 %;
- для тяжелых глинистых почв пониженных участков 23—25 %.

Влажность почвы перед очередным поливом (предполивная влажность) не должна опускаться ниже, указанных величин.

Ориентировочно глубину активного слоя почвы для различных культур можно принять следующую:

- овощные культуры — 30—80 см;
- зерновые культуры — 80—100 см;
- сады и виноградники — 70—100 см;
- многолетние травы (люцерна) — 90—130 см [4].

Хотя наши исследования показывают и более широкий диапазон этих границ.

При заполнении всех почвенных пор на глубину 1 м потребуется: для легких почв — 300 л/м<sup>3</sup> почвы и для максимально глинистых 500 л/м<sup>3</sup>. Влагоемкость самой тяжелой почвы 467,7 л/м<sup>3</sup>, т. е. 467,6 мм. А куда остальная вода уходит? Естественно на глубокое промачивание, как в 2004 году в Ставропольском крае, на глубину 2—4 м [2]. И она не лежит там мёртвым грузом. Корни растений (разведчики) постоянно ищут питательные вещества. А питательные вещества потребляются только растворёнными в воде. Поэтому корни движутся вниз и в стороны до тех пор, пока есть вода (питательный раствор). Не случайно корни люцерны (2-го года) достигают глубины 6 метров и больше, а подсолнуха и кукурузы до 4 м и более, а мы при раскопке убедились, что и сахарная свёкла в 2004 году пускала корни до 4 м и урожайность составила 759 ц/га, отдельные корнеплоды достигали 5—6 кг.

Таким образом, глубокое промачивание способствует добыванию питательных веществ (минералов) с глубины, вплоть до материнской породы. Попадая на целую материнскую породу, корешок-разведчик посылает протон на тот элемент породы, который нужен растению в данное время. Протон, попадая во внешнюю оболочку электронов атома, отнимает у элемента один или два электрона, ослабляя тем самым защитные свойства атома, превращая его в положительно заряженный ион, который забирается корнями, следующими за «разведчиком» и транспортируется наверх к растению. Этот процесс электролиза происходит только в присутствии водного раствора, то есть при глубоком промачивании. Иногда удивляются учёные агрономы, что внесли на поле 0,5 ц/га селитры, а урожай повысился вдвое, при этом из почвы с урожаем было внесено: фосфора п тонн, калия п тонн и других элементов. И не задумываются, что углерода уже 15 лет не вносили, а он во всех элементах растения содержится. А всё оттуда же, от матушки-земли. Если была влага — был электролиз, был синтез и работа бактерий анаэробных, аэробных и других. Надо только создать условия для их жизнедеятельности, а урожай будет.

Глубина залегания корневой системы зависит от многих причин, и это следует иметь в виду при назначении нормы орошения. В нормально увлажненных почвах корни располагаются глубже, чем в уплотненных или чрезмерно уплотненных.

Зная необходимую глубину промачивания, предполивную влажность и полевую (предельную) влагоемкость почвы, а также вес одного кубического метра почвы, можно вычислить поливную норму.

Растения при своем развитии должно «искать воду». Поэтому очень важно проведение предпосевного или влагозарядкового полива.

Наиболее эффективными способами для проведения влагозарядкового полива могут быть поверхностный или внутрипочвенный полив [3, 4], позволяющий обеспечить необходимую поливную норму.

При посеве во влажную почву семена быстро прорастает и дает корни и росток. По мере подсыхания влаги в верхнем слое почвы, рост самого растения несколько замедляется, корни начинают «искать» воду и вместе с ней питательные вещества. Для этого корневая система быстро развивается и вширь и вглубь. Особенно вглубь, поскольку наверху влаги недостаточно, а внизу она лежит нетронутая. Корни достают нижнюю влагу и поставляют её надземной части растений. Надземная часть растений начинает быстро развиваться. Но при её быстром развитии требуется всё больше и больше воды и для фотосинтеза, и для роста растений, и для образования семян.

Запасы воды находящиеся в глубине, корни, как насосы, подают к растениям и углубляют значительно дальше 600-800 мм. У таких растений, как зерновые (пшеница), кукуруза, люцерна четырехметровая глубина не является пределом проникновения корней, лишь бы процесс «доставания» влаги корнями шёл непрерывно.

Таким образом, глубокое промачивание необходимо для оптимального развития растений при посеве, первоначальном росте, а особенно в экстремальных условиях потребления влаги — бутонизация, цветение, налив зерна. Глубокое промачивание гарантирует обеспечение влагой растения в период между естественными осадками или при отсутствии их. Глубокое промачивание способствует обеспечению жизнедеятельности растений за счет не тронутых запасов материнской породы, накоплению органики в почве, постепенное накопление гумуса и углерода.

### **Список литературы:**

1. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометеоиздат, 1954.
2. Высочкина Л.И., Кокурин И.С. Влагозарядковые поливы необходимы / Земледелие. — 2008. — № 2 — С. 7—8.
3. Патент на полезную модель 108911 РФ, МПК7 А01G25/00. Устройство для нарезания водопоглощающих щелей / Л.И. Высочкина, И.С. Кокурин (Россия). № 2011113098/13; Заявлено 05.04.2011; Оpubл. 10.10.2011, Бюл. № 28. — 4 с.: ил.
4. Поверхностный полив при использовании технологии no-till и mini-till Высочкина Л.И., Высочкина Т.Н. Сборник научных трудов Sworld. — 2012. — Т. 7. — № 4. — С. 81—85.

## СЕКЦИЯ 9.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

#### СУБПРОДУКТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ НОВЫХ ВИДОВ КОНСЕРВОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

***Ковалева Ольга Александровна***

*аспирант кафедры биотехнологии и функционального питания  
Дальневосточного федерального университета,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [v-oluga@mail.ru](mailto:v-oluga@mail.ru)*

***Шульгина Лидия Васильевна***

*д-р биол. наук,  
профессор кафедры биотехнологии и функционального питания  
Дальневосточного федерального университета,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [lvshulgina@mail.ru](mailto:lvshulgina@mail.ru)*

#### BY-PRODUCTS OF LIVESTOCK AS RAW MATERIAL FOR NEW SPECIES OF FUNCTIONAL PURPOSE CANNED

***Olga Kovaleva***

*graduate student of the Department of biotechnology and functional food  
of the Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok*

***Lidia Shulgina***

*Sc.D., professor of the Department of biotechnology and functional food  
of the Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok*

## АННОТАЦИЯ

В статье приводится обоснование использования мозгов и печени сельскохозяйственных животных для получения продуктов функционального назначения. Приведена композиция мясных паштетных консервов с пониженной энергетической ценностью и количеством фосфолипидов, позволяющим удовлетворить суточную потребность человека в них на 46—50 %.

## ABSTRACT

The manuscript provides a rationale for the use of brains and livers of livestock for functional foods. The composition of meat pate canned with low energy value and the amount of phospholipids, able to meet the daily needs of people at 46—50 % has been shown.

**Ключевые слова:** субпродукты; мозги; печень; паштет; консервы.

**Keywords:** by-products; brain; liver; pate; canned.

В настоящее время все большую актуальность приобретают пути решения проблемы обеспечения человека рациональным и сбалансированным питанием. Несбалансированное питание приводит к дефициту поступления отдельных жизненно необходимых веществ, что ведет к нарушению гомеостаза и здоровья человека. Одним из путей решения проблемы является рациональное применение мало- или недоиспользуемых ресурсов для производства продуктов.

Мясо и мясопродукты относятся к главным источникам белка, так как содержат все незаменимые аминокислоты в значительном количестве и в благоприятном для организма человека соотношении. Биологическая ценность белков мяса весьма высока. Наиболее высокой усвояемостью обладают белки телятины и говядины, особенно их печени и почек [3, с. 5].

В связи с этим, особое значение приобретает вопрос переработки вторичного мясного сырья для получения массовых белоксодержащих продуктов. Вторичным мясным сырьем являются побочные продукты уоя скота, такие как субпродукты I и II категории, пищевая кровь, пищевая шквара и т. п. При первичной переработке скота массовая доля этих видов белоксодержащего сырья составляет от 9 до 21 % [2, с. 7]. Особенно высокую пищевую и биологическую ценность имеют субпродукты I категории, такие как язык, печень, мозги, почки, сердце. Такое сырье может использоваться как отдельно в качестве готовых кулинарных изделий, так и в качестве компонента в составе комбинированных продуктов, заменяя определенную долю мяса.

Целью настоящей работы являлось исследование субпродуктов сельскохозяйственных животных как источника отдельных нутриентов при использовании их в качестве компонентов в консервированных продуктах.

В качестве объектов для исследования были использованы говяжьи и свиные печень и мозги, по показателям качества соответствующие требованиям технических документов и СанПиН 2.3.2.1078-01. В работе были использованы стандартные методы исследований для определения массовой доли воды, белков, жира и минеральных веществ. Содержание основных классов липидов определяли методом тонкослойной хроматографии в системе растворителей гексан - диэтиловый эфир - уксусная кислота (70:30:1, по объему), используя специализированную программу обработки данных «Image J 143». Определение содержания фосфолипидов и их классов проводили в соответствии с оригинальной методикой В.Е. Васьковского [5, с. 129—141].

Результаты исследования химического состава субпродуктов сельскохозяйственных животных приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Химический состав и энергетическая ценность мозгов и печени сельскохозяйственных животных**

Компоненты	Содержание			
	мозги говяжьи	мозги свиные	печень говяжья	печень свиная
Вода, %	77,3	77,9	71,7	71,3
Белок, %	11,2	10,9	17,9	18,8
Жиры, %	9,6	9,1	3,7	3,8
Углеводы, %	0,7	0,8	5,3	4,7
Минеральные вещества, %	1,2	1,3	1,4	1,4
Энергетическая ценность, ккал	134,0	128,7	127,0	109,0

Как видно, в составе мозгов сельскохозяйственных животных количество белков находится в пределах 11 %, жира — не более 10 %, в печени белков значительно больше — 17,9—18,8 %, а липидов — не более 4 %.

При изучении состава липидов было установлено, что основными классами их в мозгах и печени сельскохозяйственных животных являются триглицериды (ТГ) и фосфолипиды (ФЛ). Доля ФЛ в общей сумме липидов в субпродуктах достаточно высокая и составляет:

в мозгах — 40,4—42,0 %, в печени — не менее 60 %, что выгодно их отличает от жировой ткани других органов животных.

ФЛ в организме человека являются незаменимыми для роста, развития и функционирования всех клеток живых организмов [1, с. 52; 4, с. 10]. Они являются основным структурным компонентом всех клеточных мембран и от них напрямую зависят многочисленные функции клетки. Суточная потребность здорового взрослого человека в ФЛ составляет 5 г. У человека ФЛ обеспечивают функцию клеточных мембран, их проницаемость для жирорастворимых веществ, регулируют обмен холестерина; предотвращают жировое перерождение печени; являются антиоксидантами и предотвращают окисление веществ, в том числе витаминов А и Е; выполняют защиту клеток и многие другие функции. Например, соотношение холестерина — фосфолипиды с возрастом, как правило, увеличивается в пользу холестерина. Это рассматривается как один из факторов старения организма, так как мембрана клетки становится жесткой и хуже реагирует на гормональные и другие сигналы. Поступление достаточного количества фосфолипидов в организм будет обеспечивать поддержание многих функций и гомеостаза.

С учетом этого, мозги и печень сельскохозяйственных животных были использованы нами для создания модельной композиции мясопродуктов по типу консервированных паштетов, богатой эссенциальными ФЛ.

Для получения паштетных консервов использовали компоненты в следующих соотношениях, мас. %: печень говядины или свинины — 40,0, мозги говяжьи или свиные — 40,0, лук пассированный — 7,0, морковь пассированная — 8,0, соль пищевую — 1,2, перец душистый молотый — 0,06, мускатный орех молотый — 0,05, корица молотая — 0,04, вода — 3,65. Все подготовленные компоненты согласно рецептуре загружали в куттер, обрабатывали смесь в течение 7 мин до получения однородной массы, фасовали в банки металлические № 1 (массой нетто 100 г), закатывали на вакуум-закаточной машине, загружали в автоклав, стерилизовали паром при температуре 115 °С (продолжительность собственно стерилизации составляла 40 мин), охлаждали водой с противодавлением 0,18 МПа.

Готовые консервы представляли собой мясопродукты без постороннего привкуса, имели нежную и сочную консистенцию, приятный вкус и запах, свойственный составляющим компонентам. Масса продукта была однородная, цвет — светло-коричневый. Отделения жира от плотной части продукта или наличие тонкой жировой пленки не наблюдалось.

Результаты исследований химического состава и энергетической ценности паштетов, включающих мозги и печень сельскохозяйственных животных, приведены в табл. 2. Паштетные консервы характеризовались пониженной энергетической ценностью. При этом, содержание ФЛ в опытных образцах консервов составляло 2,3—2,5 г на 100 г, что позволяет удовлетворить суточную потребность человека на 46—50 %.

*Таблица 2.*

**Химический состав и энергетическая ценность модельных образцов консервов**

Компоненты	Содержание в образцах с	
	говяжьими мозгами и печенью	свинными мозгами и печенью
Вода, %	75,3	74,9
Белок, %	11,6	11,9
Жиры, %	10,3	10,4
Углеводы, %	1,6	1,7
Минеральные вещества, %	1,2	1,1
ФЛ, г/100 г продукта	2,5	2,3
Энергетическая ценность, ккал	145,5	148,0

Таким образом, разработаны рецептуры и технология новых видов мясных паштетных консервов на основе мозгов и печени сельскохозяйственных животных. Содержание в консервах эссенциальных фосфолипидов обеспечивает суточную потребность человека в них на 46—50 %.

**Список литературы:**

1. Гуревич К.Г. Какие фосфолипиды «эссенциальнее»? // Клиническая фармакокинетика. — 2004. — № 1. — С. 52—57.
2. Каленик Т.К., Табакаева О.В. Рациональная переработка сырья при производстве мясных продуктов: учеб. пособие. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2013. — 190 с.
3. Смирнов А.В., Куляков Г.В., Калишина Н.Н. Разделка мяса в России и странах Европейского союза. СПб.: ГИОРД, 2014. — 136 с.
4. Ушкалова Е.А. Место эссенциальных фосфолипидов в современной медицине // Фарматека. — 2003. — № 10. — С. 10—15.
5. Vaskovsky V.E., Kostetsky T.Y., Vasendin I.M. A universal reagent for phospholipid analysis // J. Chromatogr. — 1975. — V. 114. — P. 129—141.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ МУКИ**

***Мысаков Денис Сергеевич***

*аспирант, ассистент кафедры Технологии питания,  
Уральский государственный экономический университет,  
РФ, г. Екатеринбург  
E-mail: [mysakov\\_ds@usue.ru](mailto:mysakov_ds@usue.ru)*

***Крюкова Екатерина Владимировна***

*аспирант, доцент кафедры Технологии питания,  
Уральский государственный экономический университет,  
РФ, г. Екатеринбург  
E-mail: [katepat@mail.ru](mailto:katepat@mail.ru)*

***Чугунова Ольга Викторовна***

*д-р техн. наук, заведующая кафедрой Технологии питания, профессор  
Уральского государственного экономического университета,  
РФ, г. Екатеринбург  
E-mail: [chugun.ova@yandex.ru](mailto:chugun.ova@yandex.ru)*

## **INVESTIGATION OF FLOW CHARACTERISTICS OF ALTERNATIVE FLOUR**

***Denis Mysakov***

*graduate's student, Assistant of Department of Food technology  
Ural State University of Economics,  
Russia, Ekaterinburg*

***Ekaterina Kryukova***

*graduate's student, Associate Professor of Department of Food technology  
Ural State University of Economics,  
Russia, Ekaterinburg*

***Olga Chugunova***

*doctor of technical sciences, head of Department of Food technology,  
professor of Ural State University of Economics,  
Russia, Ekaterinburg*

## АННОТАЦИЯ

Важным направлением развития пищевой промышленности является разработка технологий производства функциональных пищевых продуктов. В связи с этим в настоящее время все большее распространение находит применение альтернативных (нетрадиционных) видов муки, в частности, муки из семян ржи, ячменя, овса, сои и т. д. Однако в таком случае необходимо изучить реологические свойства каждого вида муки, так как реологические свойства сырья оказывают сильное влияние на качество готового продукта. В итоге был сделан вывод о целесообразности применения смесей и/или структураторов различного происхождения.

## ABSTRACT

An important direction of development of the food industry is the development of technologies for the production of functional foods. In this regard, currently becoming more common is the use of alternative (nontraditional) flours, particularly seed meal rye, barley, oats, soy, etc. However, in this case it is necessary to study the rheological properties of each type of flour, because the rheological properties of raw materials have a strong influence on the quality of the finished product. As a result, it was concluded that the feasibility of the use of mixtures and/or structural additives different origin.

**Ключевые слова:** мука; состав; реология; качество; нутриенты; свойства; тесто; белки.

**Keywords:** flour; composition; rheology; quality; nutrients; properties; dough; proteins.

Пшеница является одной из наиболее распространенных злаковых культур, используемых в мире. Тем не менее, хлеб получающийся из пшеничной муки, считается бедным из-за низкого содержания ключевых нутриентов, за исключением витаминов группы В [2, с. 571]. Поэтому во многих продуктах первой необходимости, таких как хлеб, пшеничная мука полностью или частично заменяется на т. н. «нетрадиционные» виды муки из прочих злаковых или бобовых сельскохозяйственных культур (овсяная, гречневая, рисовая, кукурузная, соевая, ячменная, ржаная, гороховая, нутовая, чечевичная и т. д.).

Использование таких видов муки, как рисовая, кукурузная и гречневая, привело к появлению безглютенового хлеба с повышенным содержанием таких важных питательных веществ, как белок, клетчатка, кальций, железо, витамин Е и полифенолов [1, с. 372]. Кроме того

можно утверждать, что соевая мука может компенсировать недостаток лизина и изофлавонов в пищевых продуктах.

Итак, замена пшеничной муки улучшает пищевую ценность хлебобулочных изделий и удовлетворяет требованиям потребителей о здоровом питании. Тем не менее, подобная замена значительно ухудшает реологические свойства теста, и, в итоге, качество выпеченного продукта. Это происходит из-за того, что белки риса, кукурузы, гречихи и др. не могут сформировать клейковину, отвечающей за задержку углекислого газа в тесте, выделяемого дрожжами при брожении теста.

Пригодность альтернативных культур для выпечки качественного хлеба, в основном, исследуется путем сравнения свойств их смесей пшеничной мукой с чистой пшеничной мукой. Однако целью данной работы было определение реологических свойств теста из рисовой, кукурузной, гречневой и соевой муки без их предварительного смешивания с пшеничной мукой. Реологические свойства образцов сравнивались со свойствами чистого пшеничного теста, которое служило в качестве эталона.

Исследовались следующие параметры:

- водопоглощение — процентное содержание воды, необходимое тесту для получения крутящего момента в 1,1 Нм, %;
- время достижения максимального крутящего момента  $t_{\max}$ , мин;
- стабильность — время до потери вязкости полученной консистенции, мин;
- минимальное значение крутящего момента  $M_{1\min}$ , Нм;
- максимальное значение крутящего момента при нагреве теста  $M_{\max}$ , Нм;
- пиковая температура — температура при пиковой вязкости, °С;
- минимальное значение крутящего момента  $M_{2\min}$ , достигнутое при охлаждении образцов до 50 °С, Нм;
- окончательное значение крутящего момента  $M_3$  после охлаждения образцов до 50 °С, Нм.

Водопоглощение, стабильность и механические параметры теста определялись во время замеса теста при температуре 30 °С.

Во время замеса происходила гидратация соединений, которая вызывала растяжение и выравнивание белков, что в итоге приводило к образованию трехмерной структуры вязкоупругого теста. Пшеничное тесто характеризовалось низким  $T_{\max}$ , высокой стабильностью и высокой устойчивостью к механическому воздействию. Эти свойства

пшеничного теста связаны с уникальной структурой белка пшеничной муки (совокупности глиадина и глютемина).

Основные параметры, полученные из эксперимента, представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Реологические свойства теста из альтернативных видов муки**

<b>Показатель/ Вид теста</b>	<b>Пшеничное тесто</b>	<b>Гречневое тесто</b>	<b>Рисовое тесто</b>	<b>Кукурузное тесто</b>	<b>Соевое тесто</b>
Водопоглощение (%)	60,0	58,6	60,8	64,9	100,4
$t_{\max}$ , (мин)	1,43	6,83	8,71	4,35	0,71
Стабильность, (мин)	11,18	10,9	12,19	7,26	9,40
$M_{1\min}$ , (Нм)	0,55	0,44	0,89	0,49	0,45
$M_{\max}$ , (Нм)	2,35	1,91	2,81	2,64	0,77
Пиковая температура (°C)	77,9	84,7	77,4	79,3	80,0
$M_{2\min}$ , (Нм)	2,01	1,81	2,45	2,22	0,71
$M_3$ , (Нм)	2,75	2,49	3,09	3,31	0,98

Рисовая мука и гречневая мука имеют близкие значения поглощения воды по отношению к пшеничной муке. Кроме того, тесто из этих видов муки напоминает пшеничное тесто по устойчивости к механическому воздействию. Поэтому сочетание именно рисовой и гречневой муки нашло значительное применение в безглютеновой пищевой промышленности.

Все остальные виды муки (кукурузная и соевая) имеют значительно более высокое водопоглощение и низкую стабильность. Кроме того рисовая мука и гречневая мука имели значительно высокий  $t_{\max}$ , указывающий на тот факт, что для теста из этих видов муки требуется больше времени для того, чтобы завершился процесс гидратации соединений, чем для пшеничного теста. Также рисовая и гречневая мука имеют значительно более низкое количественное содержание белка по сравнению с пшеничной мукой. При качественном анализе можно утверждать, что белки рисовой муки в основном состоят из глютелинов (65—85 %) и небольшого количества проламинов (2,5—3,5 %), в то время как белки гречихи в основном состоят из глобулинов (40—55 %) и альбуминов (20—30 %) [4, с. 211].

Что касается  $t_{\max}$ , соевая мука показала наиболее близкое значение к пшеничной муке. Соя богата белком, но, тем не менее, соевому тесту необходимо значительно большее количество воды (100,4 %), чтобы достичь крутящего момента в 1,1 Нм, по сравнению с пшеничным тестом (60,0 %).

При нагревании образцов происходила денатурация белков, которая привела к ухудшению вязкости теста (значение  $M_{1\min}$ ). А белки рисовой муки имеют устойчивость в пределах экспериментальных температур.

При продолжении нагрева изменения структуры белковых молекул имели незначительное влияние на структуру теста. В данном случае увеличение вязкости и, таким образом, вращающего момента является результатом набухания крахмала.

Самый низкий максимальный пик вязкости  $M_{\max}$  был у соевого теста, которое имеет низкое содержание крахмала и высокое содержание липидов. Полученные результаты согласуются с выводом прошлых исследований о том, что липиды в комплексе с амилозой приводят к снижению пика вязкости [3]. Напротив, рисовая мука и кукурузная мука, которые богаты углеводами, имеют максимально высокие значения.

Дальнейшее снижение вязкости (показатель  $M_{2\min}$ ) является результатом физического распада гранул крахмала в результате механического сдвига и снижения температуры. Впоследствии, при охлаждении, крахмал подвергался ретроградации и крутящий момент увеличивался ( $M_3$ ).

Таким образом можно сделать вывод о том, что хотя альтернативы пшеничной муке уже сейчас доступны на рынке, эти продукты зачастую более низкого качества из-за отсутствия отработанных технологий и рецептов приготовления. Согласно результатам исследования, образцы рисовой и гречневой муки были наиболее близки к реологическим свойствам пшеничной муки. Однако точно имитировать свойства пшеничной муки по отдельности они не могли, поэтому был сделан вывод, что только их смесь или применение сторонних структураторов даст оптимальный реологический профиль тесту.

### **Список литературы:**

1. Здоровое питание — основа жизнедеятельности человека: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., 28 марта 2008 г. / Е.В. Субботина [и др.]; Ю.Л. Александров [и др.]; Федер. агентство по образованию [и др.]; [редкол.: В.П. Клочков, Л.Г. Климацкая, Е.И. Прахин; науч. ред. Ю.Л. Александров; отв. ред. И.П. Пушмина]. Красноярск: [б. и.], 2008. — 450 с.
2. Нечаев А.П. Пищевая химия: учеб. пособие. СПб.: ГИОРД, 2001. — 588 с.
3. Свойства крахмала. Биофайл — научно-информационный журнал [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://biofile.ru/bio/19903.html>.
4. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов: справ. МакКанса и Уиддоусона / пер. с англ. яз. 6-го изд. под общ. ред. А.К. Батурина. СПб.: Профессия, 2006. — 415 с.

## СЕКЦИЯ 10.

### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА

#### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ

***Зубиков Дмитрий Валерьевич***

*аспирант кафедры*

*«Радиотехнические устройства»,*

*Самарский государственный технический университет,*

*РФ, г. Самара*

*E-mail: [zubikov\\_ekran@mail.ru](mailto:zubikov_ekran@mail.ru)*

***Мощенский Юрий Васильевич***

*д-р хим. наук,*

*зав. кафедрой «Радиотехнические устройства», профессор*

*Самарского государственного технического университета,*

*РФ, г. Самара*

*E-mail: [rtu@samgtu.ru](mailto:rtu@samgtu.ru)*

# THE DESIGN OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM TO CONTROL A TEST FACILITY OF SENSITIVITY CALIBRATION OF POWER-SATURATED MATERIALS TO DISCHARGE OF ELECTRICITY

*Dmitriy Zubikov*

*post-graduate student of Wireless devices chair,  
Samara State Technical University,  
Russia, Samara*

*Yuri Moshchenski*

*doctor of Chemistry, Head of Wireless devices chair,  
Professor of Samara State Technical University,  
Russia, Samara*

## АННОТАЦИЯ

Определены задачи, которые должна решать информационно-измерительная система (ИИС) управления экспериментальной установкой для оценки чувствительности энергонасыщенных материалов к электрическим разрядам. По результатам оптимизации обобщенной структурной схемы к решению данных задач определен состав функциональных блоков и предложена структурная схема разрабатываемой ИИС. Приведены блок-схемы алгоритмов и краткое описание функционирования разрабатываемой ИИС.

## ABSTRACT

Problems are defined which must be solved by the information and measurement system to control a test facility of sensitivity calibration of power-saturated materials to discharge of electricity. According to results of the general structural scheme to solve these problems the structure of functional units is identified; the structural scheme developed by the information and measurement system is offered. Control flow charts and brief functional description of the developed information and measurement system are given.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система; функциональный блок; структурная схема; энергонасыщенные материалы; чувствительность; электрический разряд; минимальная энергия воспламенения.

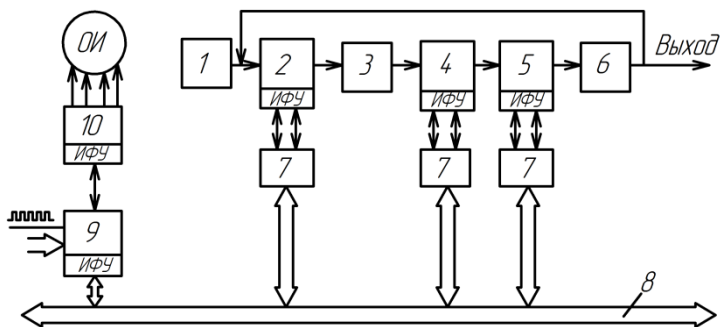


**Keywords:** information and measurement system; functional unit; structural scheme; power-saturated materials; sensitivity; discharge of electricity; minimum ignition energy.

Основными задачами, стоящими при разработке установки для определения чувствительности энергонасыщенных материалов (ЭМ) к электрическим разрядам являются следующие: 1) создание высокооднородной смеси исследуемого ЭМ с воздухом (пылевоздушной смеси — ПВС) или другими газами; 2) контроль газового состава ПВС и физических параметров рабочей среды; 3) точное дозирование энергии электрического заряда; 4) регистрация электрических параметров искрового разряда в объеме ПВС и выдача результата. Решение задачи 1 путем циклической подачи порошка из поочередно сближающихся вибрирующих ковшей [2, с. 71] и задачи 2 путем оприядения на заданное расстояние заземленного и высоковольтного электродов требует использования в установке подвижных элементов и, следовательно, приводов, работу которых необходимо синхронизировать. Решение задач 3 и 4 требует использования блоков обработки измерительной информации и контроля условий эксперимента. Описанные факторы обуславливают целесообразность применения для управления установкой информационно-измерительной системы (ИИС), обеспечивающей в автоматическом режиме синхронизацию работы измерительных и исполнительных элементов; сбор, обработку, представление и хранение измерительной информации; контроль и корректировку условий эксперимента.

Выбор и обоснование структурной схемы ИИС проводились путём оптимизации обобщённой схемы ИИС (рисунок 1) к конкретному применению в соответствии с требуемыми функционалом и параметрами установки.

На рисунке 1 показаны следующие выделяемые в обобщённой структурной схеме ИИС функциональные блоки (ФБ): 1 — первичные измерительные преобразователи; 2 — вторичные преобразователи; 3 — АЦП; 4 — цифровые устройства; 5 — устройства вывода, регистрации и отображения информации; 6 — ЦАП; 7 — интерфейсные узлы; 8 — система шин; 9 — устройства управления; 10 — исполнительные устройства; ИФУ — интерфейсные устройства; ОИ — объект исследования [1, с. 187].



**Рисунок 1. Обобщённая структурная схема ИИС**

Оптимизация обобщённой структурной схемы ИИС к задаче измерения чувствительности ЭМ к электрическим разрядам проводилась путем определения конкретных измерительных и управляющих функций ИИС и, следовательно, номенклатуры необходимых составных ФБ. При этом учитывалась связь номенклатуры составных функциональных блоков ИИС с количеством механических приводов установки, а также с объемом и содержанием измерительной информации. Определенные таким образом перечень функций ИИС и выполняющих их функциональных блоков представлены в таблице 1.

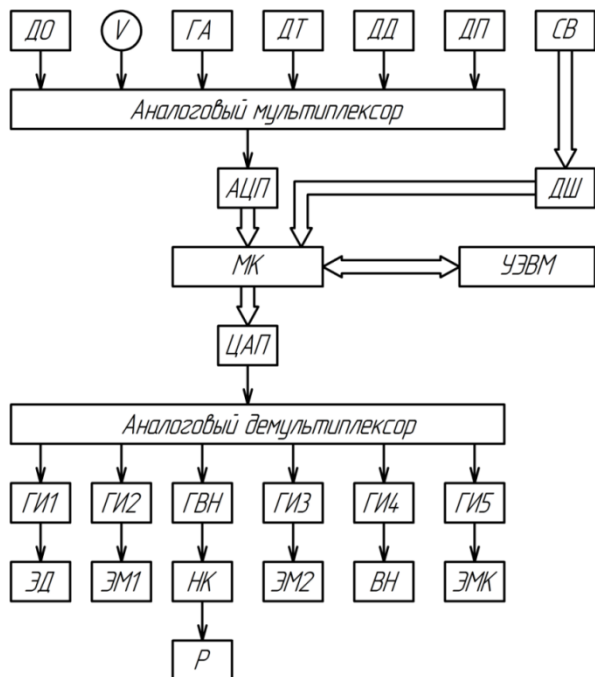
**Таблица 1.**

**Перечень функций ИИС и выполняющих их функциональных блоков**

<b>Основные функции ИИС</b>	<b>Функциональные блоки</b>
<b>Измерительные устройства</b>	
Фиксация вспышки	Датчик оптический (ДО)
Определение рабочего напряжения	Вольтметр, V
Определение газового состава ПВС	Газоанализатор (ГА)
Определение температуры ПВС	Датчик температуры (ДТ)
Определение давления в испытательной камере	Датчик давления (ДД)
Определение момента запуска двигателя вибрации	Датчик положения (контактная группа) (ДП)
Определение фазы цикла, подсчет количества циклов	Регулируемый счетчик времени (СВ)

<b>Преобразующие устройства</b>	
Аналого-цифровое преобразование сигналов от измерительных устройств в кодовые эквивалентные числовые оценки	Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)
Цифро-аналоговое преобразование кодовых числовых команд управляющих устройств в управляющие аналоговые сигналы	Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)
Преобразование кода счетчика в числовой код, воспринимаемый управляющим устройством	Дешифратор (ДШ)
<b>Исполнительные устройства</b>	
Подача управляющих сигналов на электродвигатель вращения (ЭД)	Генератор импульсов (ГИ1)
Подача управляющих сигналов на электромагнит вибрации (ЭМ1)	Регулируемый генератор импульсов (ГИ2)
Заряд разрядного конденсатора	Регулируемый генератор высокого напряжения (ГВН)
Подача управляющих сигналов на электромагнит перемещения подвижного электрода (ЭМ2)	Генератор импульсов (ГИ3)
Подача управляющих сигналов на вакуумный насос (ВН)	Генератор импульсов (ГИ4)
Подача управляющих сигналов на газовый электромагнитный клапан (ЭМК)	Генератор импульсов (ГИ5)
Организация упорядоченного обмена данными между ФБ ИИС	Интерфейсные устройства (ИФУ)
<b>Управляющие устройства</b>	
Принятие управляющих решений на основании измерительной информации в соответствии с заданной программой	Управляющая электронная вычислительная машина (УЭВМ)
Сбор измерительной информации и передача ее на УЭВМ	Микроконтроллер (МК)
Получение управляющих решений от УЭВМ и выдача управляющих команд (кодовых числовых команд) на исполнительные устройства	МК
<b>Устройства обработки, хранения и представления информации</b>	
Вычислительная обработка измерительной информации, включающая ее статистическую обработку, оценку и коррекцию систематических погрешностей	УЭВМ (состав и алгоритм операций обработки информации определяется ПО)
Хранение априорной информации, необходимой для вычислительной обработки измерительной информации	УЭВМ (память)
Представление исходной измерительной или вычислительно обработанной информации в форме, доступной для восприятия оператором	УЭВМ (обеспечивается составной частью ПО)

Структурная схема ИИС, разработанная на основе сформированного перечня ФБ, показана на рисунке 2. Для удобства на схеме не показаны система шин, обеспечивающих электрическое и информационное сопряжение ФБ, ИФУ и интерфейсные узлы (места коммутации шин с ИФУ).

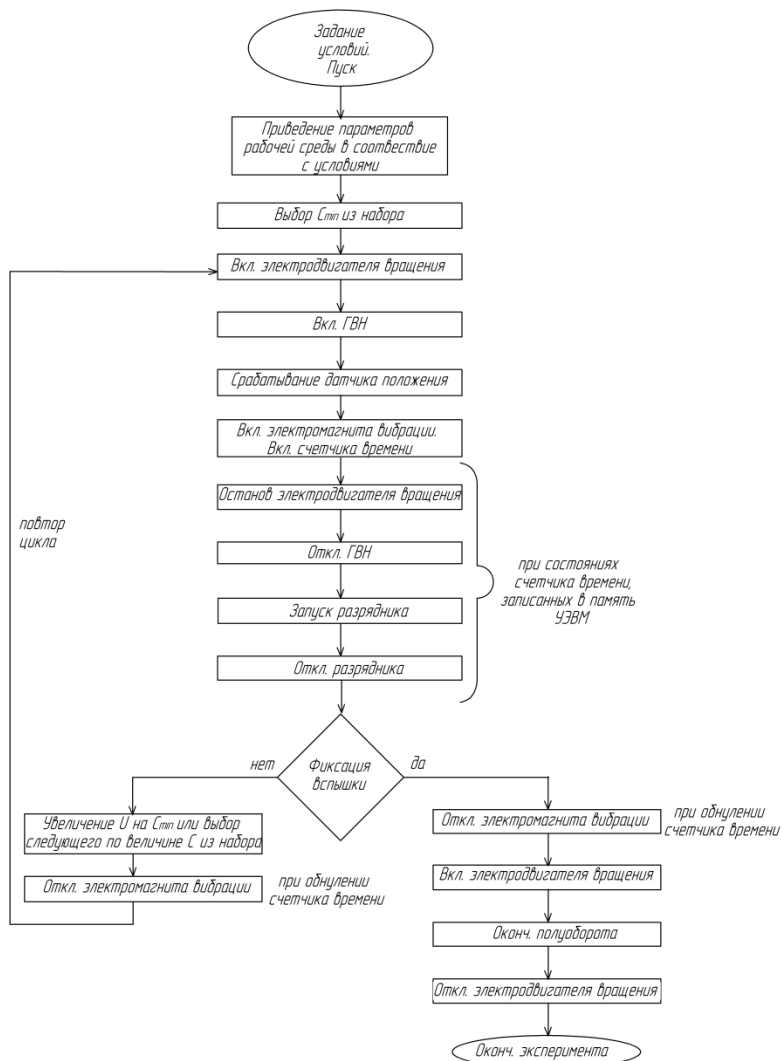


**Рисунок 2. Структурная схема разрабатываемой ИИС**

На рисунке 2 использованы условные обозначения, принятые в таблице 1, а также: НК — набор конденсаторов; Р — разрядник. Поскольку объёмы и требуемая скорость поступления измерительной информации и управляющих команд, поступающих на преобразование, не высоки, решено использовать последовательный способ преобразования, как наиболее экономичный. В структурной схеме применен один АЦП и один ЦАП. При аналого-цифровом преобразовании применено аналоговое мультиплексирование сигналов всех входных каналов, а при цифро-аналоговом преобразовании — преобразование числовых кодов управляющих команд одним ЦАП и дальнейшее

аналоговое демультиплексирование сигналов, подаваемых на входные каналы исполнительных устройств.

Блок схема алгоритма работы ИИС приведена на рисунке 3:



**Рисунок 3. Блок-схема алгоритма функционирования разрабатываемой ИИС**

На рисунке 3 использованы следующие условные обозначения:  $C$  — емкость конденсатора, выбираемого из набора;  $C_{\min}$  — емкость наименьшего конденсатора из набора;  $U$  — напряжение, до которого заряжается выбранный разрядный конденсатор.

Ниже даны некоторые дополнительные пояснения к блок-схеме алгоритма работы ИИС:

1. На первом шаге экспериментатором задаются следующие исходные условия: величина напряжения, устанавливаемого на разрядном конденсаторе  $U$ ; амплитуда и частота колебаний вибростата, зависящие от длительности его освобождения от порошка (в соответствии с дисперсным составом порошка исследуемого ЭМ); газовый состав рабочей среды и плотность ПВС.

2. На втором шаге параметры среды в испытательной камере приводятся в соответствие с заданными условиями путем откачки воздуха из камеры вакуумным насосом и подачи необходимых газов из баллонов через ЭМК. В ходе эксперимента соответствие параметров среды заданным условиям контролируется газоанализатором, датчиками давления и температуры, и при необходимости корректировки параметров среды МК выдает на ГИ4, ГИ5 соответствующие команды на включение/выключение ВН и ЭМК.

3. Выбор конденсатора из набора осуществляется путем формирования МК сигнала разрешения на выбор данного конденсатора и подтверждающих сигналов выключения на остальные конденсаторы.

4. При включении ГВН амплитуда и частота выдаваемых им импульсов заряда конденсатора задаются УЭВМ в зависимости от величины емкости выбранного конденсатора.

5. Амплитуда и частота импульсов, выдаваемых ГИ2 на электромагнит вибрации, устанавливаются УЭВМ в зависимости от заданных оператором амплитуды и частоты колебаний вибростата.

6. Максимальное сближение электродов регулируемое, составляет от 1 до 6 мм; исходное расстояние между электродами — 20 мм.

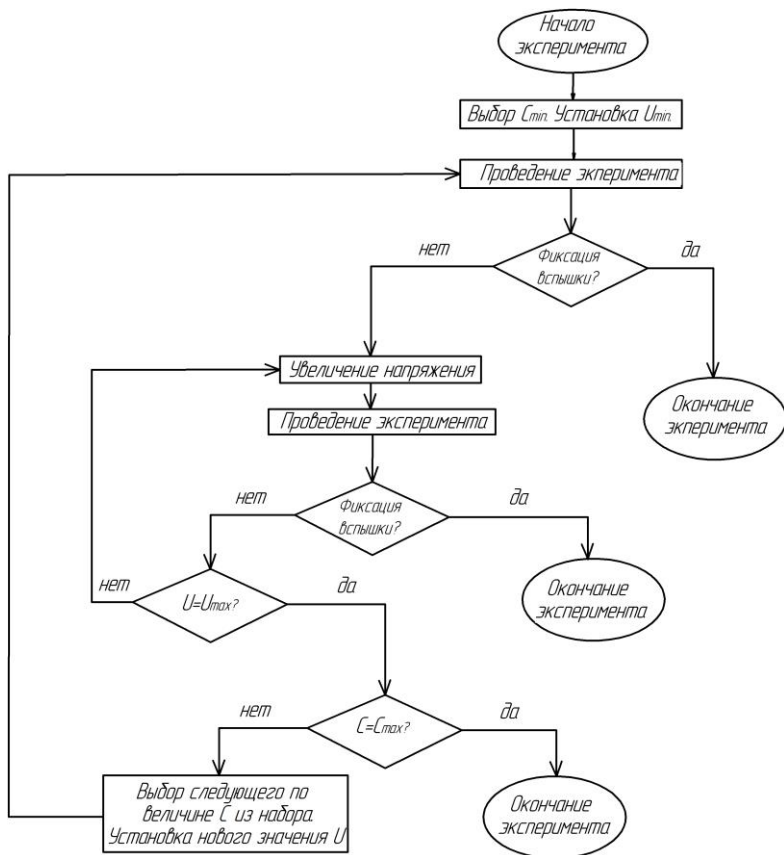
7. После фиксации вспышки электромагнит вибрации отключается только по истечении интервала времени, необходимого для полного освобождения воронкообразного вибростата от порошка (один из заданных оператором параметров). Решение об отключении электромагнита вибрации принимается УЭВМ при получении от СВ сигнала о его переполнении и обнулении. Поскольку интервал времени освобождения вибростата от порошка может изменяться, счетчик времени должен быть регулируемым.

8. Если вспышка не была зафиксирована, электродвигатель вращения запускается с целью доведения ковшей до положения срабатывания ДП, после чего цикл начинает повторяться заново (счетчик времени запускается в момент срабатывания датчика положения).

Величины емкости конденсатора и зарядного напряжения выбираются экспериментатором, исходя из требуемой величины энергии разряда.

В ИИС предусмотрено также автоматическое определение минимальной энергии воспламенения (МЭВ) ПВС по алгоритму, блок-схема которого приведена на рисунке 4. При этом возможно задание шага изменения величины напряжения заряда и величины емкости конденсатора.

На рисунке 4 использованы следующие условные обозначения:  $C_{\min}$  и  $C_{\max}$  — емкости соответственно наименьшего и наибольшего конденсаторов из набора; — наибольшего конденсатора из набора;  $C$  — емкость выбранного разрядного конденсатора;  $U_{\min}$  и  $U_{\max}$  — соответственно минимальное и максимальное напряжения, устанавливаемые на разрядном конденсаторе ( $U_{\min} = 3$  кВ,  $U_{\max} = 10$  кВ);  $U$  — напряжение, до которого заряжается выбранный разрядный конденсатор.



**Рисунок 4. Блок-схема алгоритма автоматического определения МЭВ ПВС**

Некоторые дополнения к блок-схеме алгоритма автоматического определения МЭВ ПВС:

1. Значения  $U_{\min}$  и  $C_{\min}$  в совокупности определяют минимальную энергию около 50 мДж.

2. При включении большего по величине емкости конденсатора установка нового значения  $U$  (меньшего по сравнению с ранее установленным) производится таким образом, чтобы обеспечить монотонный ряд повышения энергии разрядов.

3. При определении области энергий устойчивых срабатываний шаг приращения зарядного напряжения уменьшается с целью



обеспечения возможно наиболее точного определения в ее окрестности чувствительности исследуемых ПВС ЭМ.

Внедрение предложенной ИИС позволит существенно повысить технологическую безопасность при разработке новых и производстве имеющихся энергонасыщенных материалов, так как подавляющее большинство из них являются диэлектриками, склонными к сильной электризации.

### **Список литературы:**

1. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Измерительная техника: учеб. пособие для техн. вузов. М.: Высш. шк., 1991. — 384 с.
2. Овчаренко А.Г., Раско С. Л. Электростатическая безопасность пожаро- и взрывоопасных производств. Алт. гос. тех. ун-т, БТИ. Бийск. Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 2006. — 156 с.

## СЕКЦИЯ 11.

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

#### ФАКТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

***Чернышева Юлия Станиславовна***

*канд. техн. наук, доцент Института сферы обслуживания  
и предпринимательства (филиала) ДГТУ,  
РФ, г. Шахты*

*E-mail: [Julia\\_chern@mail.ru](mailto:Julia_chern@mail.ru)*

***Поваляева Виктория Александровна***

*канд. техн. наук, профессор Института сферы обслуживания  
и предпринимательства (филиала) ДГТУ,  
РФ, г. Шахты*

*E-mail: [Victoria\\_p@mail.ru](mailto:Victoria_p@mail.ru)*

#### ACTUAL ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS OF WORKERS OF PAINT AND VARNISH PRODUCTIONS

***Julia Chernisheva***

*candidate of Science, Head,  
assistant professor of the Institute of the service sector  
and entrepreneurship (branch) DGTU,  
Russia, Shathy*

***Victoria Povalyaeva***

*candidate of Science, Head,  
professor of the Institute of the service sector  
and entrepreneurship (branch) DGTU,  
Russia, Shathy*

## АННОТАЦИЯ

Изучения и фактическая оценка условий труда работников лакокрасочных производств с учетом комплексного воздействия опасных и вредных производственных факторов.

## ABSTRACT

Study and evaluation of the actual working conditions of workers paint industries taking into account the complex effects of hazardous and harmful factors.

**Ключевые слова:** вредные производственные факторы; лакокрасочные материалы; аппаратчики; гигиенические нормативы; специальная одежда.

**Keywords:** harmful production factors; paints; apparatchiks; hygienic standards; special clothing.

Трудовая деятельность работающего населения протекает в определенных условиях производственной среды, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на работоспособность и здоровье человека [1].

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый гражданин России имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены.

В этой связи, базовым принципом государственной политики Российской Федерации в области охраны труда является обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

На работников химической отрасли промышленности систематически воздействуют опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ), приводящие к развитию целого спектра профессиональных заболеваний [2].

Условия труда на лакокрасочных заводах имеют свою специфику, обусловленную воздействием вредных факторов, специфичных для данного химического производства.

Целью изучения условий труда работников лакокрасочных производств, являлось выявление опасных и вредных производственных факторов, действующих на человека в процессе трудовой деятельности [3].

Оценка условий труда осуществлялась на крупнейшем в ЮФО лакокрасочном заводе «Радуга», выпускающем широкий ассортимент лакокрасочных материалов (ЛКМ).

Основными профессиями, занятыми на производстве лакокрасочных материалов, являются аппаратчики и грузчики.

Аппаратчики обслуживают различные стадии технологического процесса производства ЛКМ, а также осуществляют контроль качества полуфабрикатов и сырья с использованием контрольно-измерительных приборов.

Работа грузчиков связана с доставкой сырья со склада к рабочему месту аппаратчика и отгрузкой готовой продукции на склад с применением простейших погрузочно-разгрузочных приспособлений, а также внутрискладской переработкой упакованных единиц тары [4].

Сбор данных об условиях труда лакокрасочном заводе осуществлялся в несколько этапов, последовательность которых приведена в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Последовательность при оценке условиях труда работников лакокрасочного завода [4]**

№	Этап	Наименование мероприятий
1	Предварительное изучение	1.1 Изучение процесса производства различных видов ЛКМ по технологической документации. 1.2 Изучение паспортов химической безопасности ЛКМ. 1.3 Изучение должностных инструкций работающих занятых на различных операциях по производству ЛКМ. 1.4 Изучение документации службы охраны труда (статистика внештатных ситуаций за отчетный период, протоколы аттестации рабочих мест).
2	Опрос работников лакокрасочного завода	2.1 Составление анкеты для опроса работников лакокрасочного завода, с целью выявлению вредных производственных факторов, действующих на человека в реальных условиях труда. 2.2 Формирование группы экспертов из работников лакокрасочного завода. 2.3 Проведение опроса и статистическая обработка полученных результатов. 2.5 Выявление перечня вредных производственных факторов, действующих на человека в условиях лакокрасочных производств.

3	Гигиеническая оценка условий труда работников лакокрасочного завода в различных цехах	3.1 Замер и оценка содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. 3.2 Замер параметров микроклимата (температура относительная влажность, скорость движения окружающего воздуха). 3.3 Замер уровня шума и вибрации. 3.4 Проведение хронометражных наблюдений в течение 10 рабочих смен. 3.5 Сравнение полученных результатов замеров с гигиеническими нормативами. 3.6 Определение класса вредности условий труда.
---	---	---

В результате оценки был сделан вывод о том, что наиболее часто на работников лакокрасочных производств действуют следующие вредные факторы: химические вещества 2 и 3 класса опасности (органические растворители, соли тяжелых металлов, готовая лакокрасочная продукция), подвижные части производственного оборудования (диспергаторы, краскотерочные машины), повышенный уровень шума на рабочем месте (работающие бисерные мельницы, системы вентиляции).

Следующим этапом в рамках работ по изучению условий труда на лакокрасочном заводе, являлась оценка степени отклонения выявленных факторов производственной среды от их нормы. Проведенные исследования позволили определить степень вредности условий труда по совокупному воздействию физических, химических, виброакустических факторов (табл.2).

**Таблица 2.**

**Комплексная оценка вредности условий труда работников лакокрасочных производств [4]**

Вид вредного фактора	Профессия	Классы вредности условия труда в соответствующих цехах производства:		
		перхлорвиниловых ЛКМ	масляных ЛКМ	алкидно-акриловых ЛКМ
Химический	Аппаратчики	3,1	3,1	2
	Грузчик	2	2	2
Шум	Аппаратчики	3,1	2	3,1
	Грузчик	2	2	2
Вибрация	Аппаратчики	2	2	3,1
	Грузчик	2	2	2
Микроклимат	Аппаратчики	2	2	2
	Грузчик	2	2	2
Тяжесть	Аппаратчики	2	2	2
	Грузчик	3,1	3,1	3,1
Напряженность	Аппаратчики	3,1	3,1	3,1
	Грузчик	1	1	1
Вредность условий труда по совокупному воздействию факторов	Аппаратчики	3,2	3,1	3,2
	Грузчик	3,1	3,1	3,1

Анализ данных таблицы 2 показал, что условия труда всех категорий работников лакокрасочных производств являются вредными, но есть отличия в степени вредности и факторах, её обуславливающих. Вредность условий труда, во многом зависит от вида ЛКМ, на производстве которого они заняты, а также от трудовых операций, которые они выполняют.

Вредность условий труда (3 класс 2 степень) аппаратчиков, занятых на производстве перхлорвиниловых ЛКМ, обусловлена превышением ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, у аппаратчиков цеха алкидно-акриловых ЛКМ — превышением ПДУ вибрации и шума.

Условия труда аппаратчиков, задействованных в производстве масляных ЛКМ, так же являются вредными, но степень вредности ниже (3 класс 1 степень).

Вредность условий труда грузчиков (3 класс 1 степень) обусловлена тяжестью выполняемых трудовых операций, по всем остальным факторам условия труда являются допустимыми.

Изучение условий труда осуществлялось с целью сбора исходной информации, необходимой для проектирования специальной одежды, защищающей человека в условиях лакокрасочных производств [4].

### **Список литературы:**

1. Благодатин В.М., Пенкнович А.А., Федотова И.В. Проблемы гигиены труда и профпатологии в химической промышленности на современном этапе // Вестник Российской Академии медицинских наук. — 1995. — № 3. — С. 141.
2. Румянцева Г.И., Новиков С.М. Проблемы прогнозирования токсичности и риска воздействия химических веществ на здоровье населения // Гигиена и санитария. — 1997. — № 6. — С. 10—14.
3. Чернышева Ю.С., Поваляева В.А., Поваляев В.А. Проектирование специальной одежды для рабочих лакокрасочных производств с учетом конкретных условий эксплуатации // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. — 2012. — № 6. — с. 152—156.
4. Чернышева Юлия Станиславовна. Разработка и исследование специальной защитной одежды для лакокрасочных производств с учетом локализации воздействия вредных факторов: Дис. канд. техн. Наук. Шахты, 2013. — С. 149.

## СЕКЦИЯ 12.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

#### МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОГО ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Колесникова Ольга Валерьевна*

*старший преподаватель  
Дальневосточного Федерального университета,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [miis@mail.ru](mailto:miis@mail.ru)*

*Лелюхин Владимир Егорович*

*канд. техн. наук, доцент  
Дальневосточного Федерального университета  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [lev0@mail.ru](mailto:lev0@mail.ru)*

#### PLANNING METHODOLOGY SMALL SERIES OF DISCRETE ENGINEERING PRODUCTION

*Olga Kolesnikova*

*Lecture of Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok*

*Vladimir Lelyukhin*

*candidate of Science,  
associate professor of Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok*

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы формирования производственных планов для условий мелкосерийного и единичного машиностроения.



Предложена оригинальная методика формирования интегрального плана производства, синхронизированного с поступающими заказами и загрузкой производственных мощностей. В основу методики положено необходимое и достаточное информационное обеспечение.

#### **ABSTRACT**

The article discusses the formation of the production plans for the conditions of small-batch engineering.

The paper proposes an original technique for the formation of an integral plan of production, synchronized with the incoming orders and capacity utilization. Methodology is based on the necessary and sufficient information support.

**Ключевые слова:** машиностроение; единичное производство; дискретное производство; конструкторско-технологическая подготовка; синхронное планирование.

**Keywords:** engineering; production unit; discrete manufacturing; design and technological preparation; synchronized planning.

Подготовка производства по определению представляет собой комплекс работ направленных на обеспечение и организацию производства. В машиностроении к подготовке производства принято относить конструкторскую, технологическую, организационную подготовку, материальное и информационное обеспечение. Цель подготовки производства состоит в создании технических, организационных и экономических условий для производства (выпуска) продукции [6, 3].

Заключительным и интегрирующим элементом подготовки производства является планирование, в процессе которого определяется где, когда и какие процедуры должны быть выполнены, для получения искомого результата.

Сегодня предлагается достаточно большой спектр методик, моделей и алгоритмов планирования, вполне успешно функционирующих в различных производственных условиях [5, 4]. Однако в мелкосерийном и единичном машиностроении с дискретным характером производства пока что планирование осуществляется на основе профессионального «волонтаризма», который зачастую преподносится как производственный опыт.

Важно отметить, что даже самые замечательные модели и алгоритмы не смогут обеспечить корректности результатов, если в процессе моделирования используется недостаточно «качественная» информация. Качество информации здесь определяется учетом

и описанием всех факторов, которые значимо влияют на результаты планирования.

В массовом и крупносерийном производстве подготовке вышеуказанной информации уделяется серьёзное внимание, в том числе оформлению конструкторской и технологической документации с требуемой степенью детализации. В этих условиях планирование подчиняется строго определенным правилам (алгоритмам), не вызывает особых проблем и позволяет использовать MRP-II, MES, APS и другие автоматизированные системы [1, 7, 9]. При этом используется трехуровневая модель планирования на машиностроительных предприятиях [7, 9].

На первом (верхнем) уровне предполагается составление объемно-календарного плана. При детализации этого плана (на втором уровне) составляется укрупненный план производства для всех подразделений предприятия. В этом плане определяется номенклатура, объемы и сроки выпуска продукции, а также материальные ресурсы необходимые для его выполнения. И только на третьем шаге составляется расписание загрузки оборудования с учетом вышеперечисленного информационного обеспечения.

Такой подход к планированию вполне оправдан в массовом и крупносерийном производстве. Поскольку с одной стороны технологические процессы (бизнес-процессы) остаются практически неизменными в течение определенного времени, а с другой стороны имеются реальные планы на длительную перспективу.

Несколько по-иному обстоят дела в единичном и мелкосерийном производстве. Казалось бы, что со снижением серийности должны расти удельные затраты на конструкторскую и технологическую подготовку. Однако в машиностроении бытует существующий еще с советских времен стереотип всевозможного снижения затрат на технологическую подготовку. Например: «Технологическое проектирование от общего объема технической подготовки составляет 30÷40 % для мелкосерийного, 40÷50 % для серийного и 50÷60 % для массового производств» [8].

На самом деле попытка уменьшения времени выполнения заказа за счет сокращения степени детализации технологической подготовки, приводит к увеличению производственного цикла, а также к снижению качества выполнения работ.

Кроме того, в условиях единичного и мелкосерийного производства ситуация с планированием осложняется тем, что работа «под заказ» трудно прогнозируема даже на небольшую перспективу, поэтому объемно-календарный план представляет собой некий прогноз

основанный на статистике прошлых периодов никоим образом не связанный с выполнением работ в текущее время. Вполне естественно, что такой прогноз не может служить основой для формирования детального производственного плана.

В работе предлагается объемно-календарное планирование использовать в качестве годового и квартального прогнозного ориентира экономической ситуации предприятия. Производственное планирование и управление осуществлять с использованием единого интегрального плана предприятия синхронизированного с поступающими заказами и загрузкой производственных мощностей.

Основой методики формирования такого плана является необходимое и достаточное информационное обеспечение с однозначным и полным описанием конструкции изделия и технологии его изготовления. Кроме этого, весьма важным является информация о плановой загрузке каждого рабочего места. По мнению авторов для формирования корректного производственного плана (графика) в качестве исходных данных необходимо и достаточно иметь следующее информационное обеспечение:

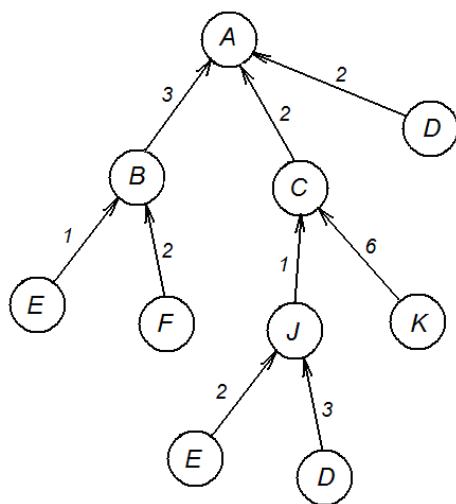
1. Состав заказа (производственное задание);
2. Однозначное описание состава и структуры выпускаемых изделий;
3. Полное описание технологических процессов (бизнес-процессов) производства этих изделий;
4. Состав оборудования и схемы расположения рабочих мест;
5. Схемы организации производственных и информационных потоков на предприятии;
6. Регламенты организации работы на предприятии (производственный календарь);
7. Сложившаяся на момент планирования загрузка рабочих мест.

Из всего объема конструкторской информации для целей планирования необходимы структура изделия (электронная структура изделия) и спецификация на сборочные единицы. Для использования возможности автоматизированной обработки информации в машиностроении описание производимой продукции принято представлять в виде электронной структуры машиностроительного изделия в соответствии с ГОСТ 2.053-2006 [2].

Пример такого представления в виде графа показан на Рисунок 1. Вершинами графа (обозначены латинскими символами) являются детали-сборочные единицы (ДСЕ), а дугами указаны взаимосвязи между ними. Цифры рядом с дугами указывают входимость ДСЕ

в более верхний уровень, иными словами количество деталей или сборочных единиц применяемых в узле на который указывает стрелка. В данном примере вершина «А» в соответствии с направлением дуг (стрелок) является конечной.

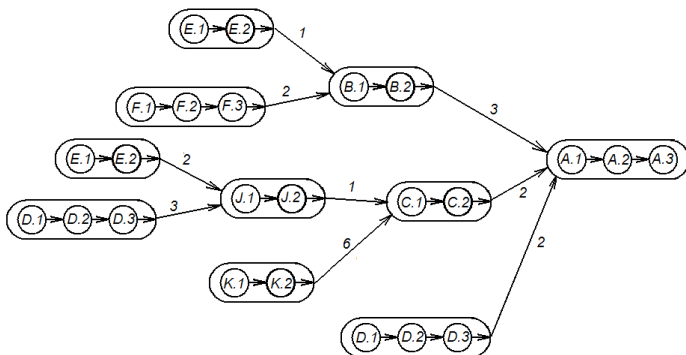
Поскольку процесс изготовления ДСЕ представляется определенным образом упорядоченной последовательностью технологических операций, его также можно изобразить в виде ориентированного графа.



**Рисунок 1. Представление электронной структуры изделия в виде ориентированного графа-дерева**

В результате структура изделия представляется в виде графа работ, который получается из электронной структуры изделия заменой вершин (ДСЕ) последовательностями технологических операций их изготовления (Рисунок 2).

Построенный таким образом граф производственной структуры изделия представляет собой модель информационного взаимодействия конструкторской и технологической подготовки.



**Рисунок 2. Производственная структура изделия в виде графа-дерева**

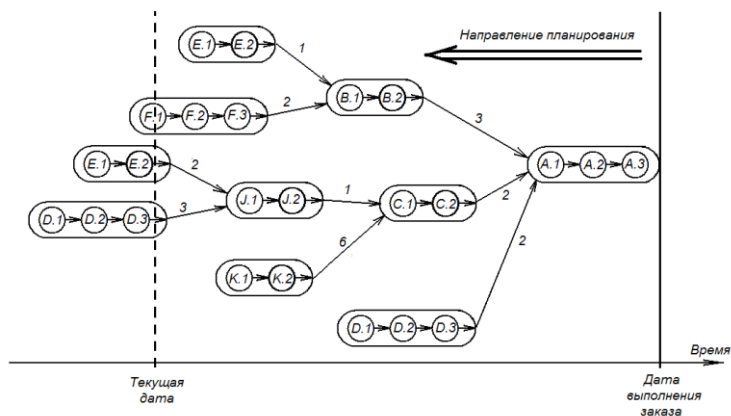
В процессе изготовления изделия, а соответственно и при составлении производственного плана, имеются следующие ограничения:

- сборочная единица не может быть произведена раньше, чем составляющие ее детали и другие сборочные единицы;
- последовательность выполнения технологических операций строго определена в технологическом процессе и не может быть изменена;
- начало выполнения следующей технологической операции из технологического процесса возможно только после окончания текущей операции;
- на одном рабочем месте (станке, слесарном верстаке и т. д.) не может одновременно выполняться несколько операций с несколькими разными заготовками;
- выполнение всех работ может производиться только в рабочее время, соответствующее графику работы.

Планирование выполняется в следующем порядке. Подбирается перечень заказов (покупателя или внутренних), которые необходимо произвести. При планировании изделия выбираются в порядке, установленном в перечне. Для выбранного изделия строится граф технологических операций в соответствии со структурой изделия (Рисунок 2). Далее в соответствии с алгоритмом определяется порядок обработки детали-сборочных единиц.

В современных указанных MRP-II, MES и APS системах планирование начинается от заранее заданного срока выполнения заказа и выполняется в обратном порядке к текущей дате (в прошлое

по временной шкале) [1, 7, 9]. Понятно, что при этом может возникать ситуация, когда не хватает временного интервала для выполнения заказа (Рисунок 3). В этом случае определяется новый срок исполнения заказа и выполняется перепланирование.

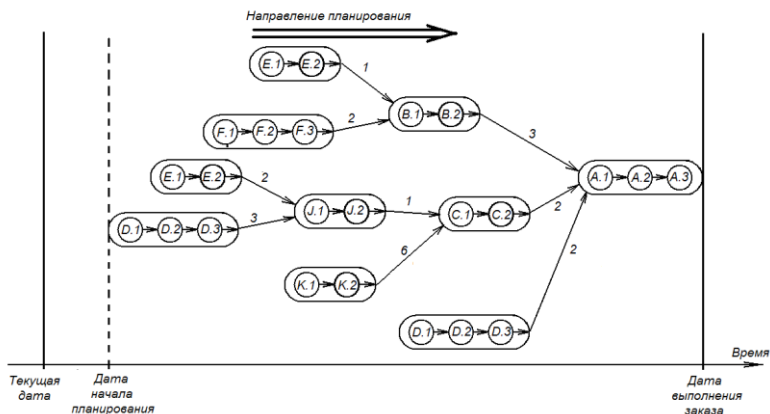


**Рисунок 3. Планирование в MRP-II, MES и APS системах**

В отличие от подходов MRP-II, MES и APS, авторы предлагают формировать план на основе моделирования расписания выполнения технологических операций в соответствии с производственной структурой изделия. В качестве начала формирования используется любая дата не ранее текущей. Планирование выполняется от исходной даты в будущее, с учетом существующей занятости каждого рабочего места (Рисунок 4).

Процесс планирования при предлагаемом подходе выглядит следующим образом: формирование модели заказа покупателя ⇒ формирование модели плана ⇒ утверждение модели в качестве плана или удаление модели.

**Формирование модели заказа покупателя.** Моделью заказа считается предварительный заказ покупателя, в котором отражаются его пожелания.



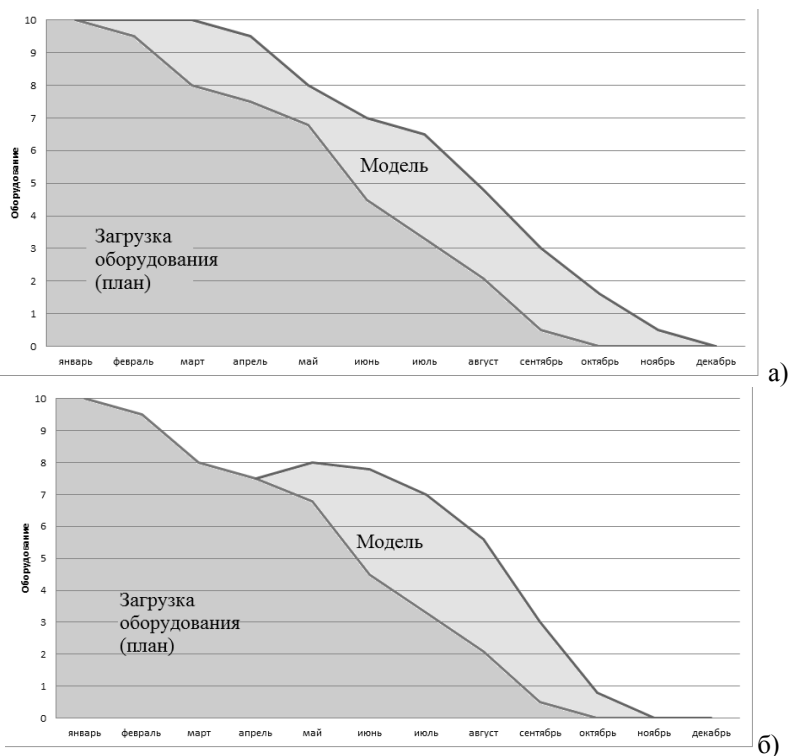
**Рисунок 4. Предлагаемая схема производственного планирования**

**Формирование модели плана** исполнения для предварительного заказа покупателя. Модель плана формируется с учетом реальной загрузки производства. В результате планирования определяется дата изготовления заказа и его стоимость. Важным моментом является формирование модели плана до заключения договора с заказчиком.

В результате моделирования определяется срок исполнения заказа с учетом реальной загрузки оборудования (Рисунок 5), причем для одного и того же изделия длина производственного цикла может отличаться. Например, если заказ оформляется в феврале (Рисунок 5, а), когда оборудование предприятие практически полностью занято выполнением других работ, то срок исполнения заказа растянется до декабря. Если же заказ оформляется в апреле (Рисунок 5, б), когда загрузка оборудования значительно меньше, то и срок исполнения заказа будет существенно меньше. Иными словами, длина производственного цикла для единичного производства существенно зависит от текущей загрузки оборудования, поэтому такой параметр как срок изготовления не может быть жестко определен и установлен.

**Утверждение модели в качестве плана.** По результатам моделирования плана уточняется заказ покупателя и условия его выполнения. Если договоренность с заказчиком достигнута, то оформляется договор на изготовление заказа, модель плана утверждается и становится планом производства. Если по каким-либо причинам договоренность с заказчиком не достигнута, то модель плана удаляется, и освободившееся место может быть использовано для выполнения другого заказа (Рисунок 6).

Действия планировщика в этой ситуации зависят от политики предприятия и времени работы с моделями планов. Могут быть рассмотрены следующие ситуации. В ходе моделирования сформировано две модели планов: «Модель 1» сформирована с учетом реальной текущей загрузки оборудования; «Модель 2» формировалась как с учетом реальной загрузки оборудования, так и с учетом возможной загрузки оборудования при утверждении «Модели 1» (Рисунок 6, а).

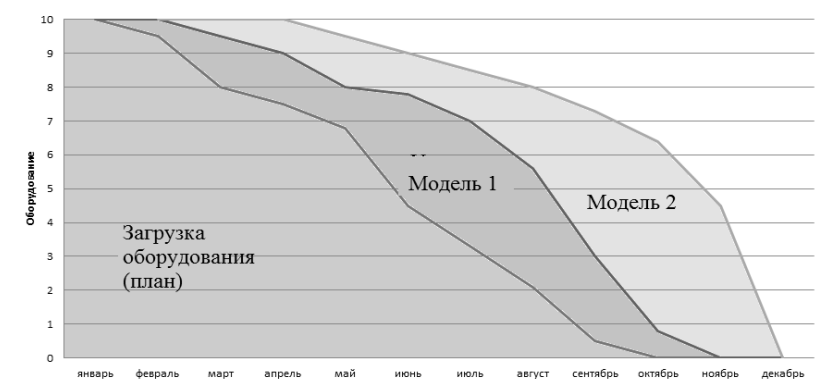


**Рисунок 5. Формирование модели плана**

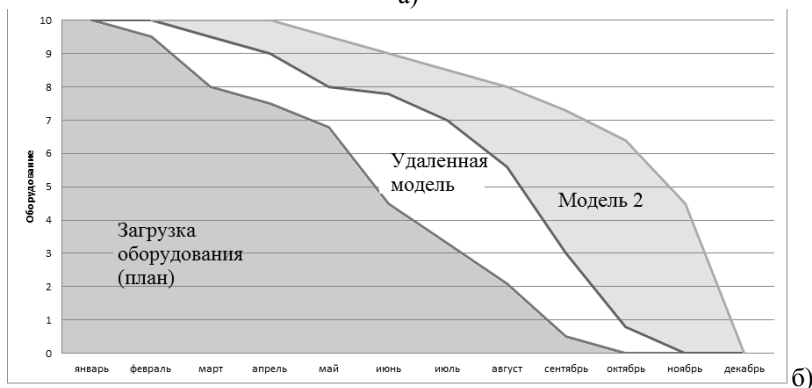
Предположим, что первый заказчик отказался от своего заказа и «Модель 1» удалена (Рисунок 6, б). Какие действия можно предпринять с «Моделью 2». Возможен вариант, когда «Модель 2» не изменяется и план остается такой как на Рисунок 6, б. В этом случае при появлении нового заказа свободное место учитывается и запол-



няется при планировании. Либо другой вариант, «Модель 2» отменяется и производится перепланирование с учетом изменившейся ситуации. В этом случае работы по второму заказу могут быть выполнены раньше оговоренных в договоре сроков.



а)



б)

**Рисунок 6. Манипулирование моделями плана**

Предлагаемый подход предполагает формирование одного детального плана производства вместо трех (объемно-календарного, укрупненного, оперативно-календарного).

Таким образом, предложенная методика формирования единого интегрального плана производства предназначена для единичного и мелкосерийного типов машиностроительного дискретного производства и базируется на следующих основных принципах формирования плана:

1. формирование плана осуществляется на основе всей необходимой и достаточной информации как об изделии (конструкторская и технологическая информация), так и внутренней (загрузка оборудования и т. д.) и внешней (заказы покупателей, спрос на продукцию и т. д.) среде предприятия;

2. формирование плана начинается с даты запуска изделия или заказа в производство вперед, в будущее. Дата запуска изделия/заказа в производство указывается перед началом планирования и может быть равна текущей дате или быть больше ее. Такой подход позволяет избежать необходимости перепланирования в результате пересечения границы сегодняшнего дня и ухода в прошлое;

3. план формируется за один цикл. Поскольку планирование выполняется от даты запуска вперед, в будущее, то однозначно будет найдена конечная дата изготовления изделия;

4. план формируется с учетом имеющейся загрузки оборудования. Поскольку план формируется на весь период изготовления изделий, то загрузка оборудования известна на любой период (неделю, месяц, год). Исходя из этой информации, всегда можно поставить в план изготовление нового заказа с учетом изготовления всех имеющихся заказов и изделий;

5. план может формироваться на любой период, срок, который зависит только от времени изготовления изделия.

На основе предложенной методики на машиностроительном предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр» разработана и внедрена оригинальная система формирования интегрального производственного плана на платформе 1С:УПП. Система позволяет оперативно определять сроки исполнения заказов с учетом реальной загрузки мощностей предприятия.

### **Список литературы:**

1. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. 2-е изд. СПб.: Питер, 2008. — 416 с.: ил.
2. ГОСТ 2.053-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения. М. Стандартинформ. 2007.
3. Ковальский В.И. Организация и планирование производства на машиностроительном предприятии.: Учеб.пособие для машиностроительных техникумов / В.И. Ковальский. М.: Машиностроение, 1986. — 288 с.: ил.
4. Мауэргауз Ю.Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. — 574 с.

5. Мезенцев Ю.А. Оптимизация расписаний последовательно-параллельных обслуживающих систем // Программные продукты и системы. — 2009. — № 1. — С. 22—26.
6. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент): Учебник / К.А. Грачева, М.К. Захарова, Л.А. Одинцова и др.; Под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. М.: Высш. шк., 2003. — 470 с.: ил.
7. Питеркин С.В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. / С.В. Питеркин, Н.А. Оладов, Д.В. Исаев. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. — 368 с.
8. Технология машиностроения. Часть I: Учебное пособие/ Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, Б.Я. Розовский, В.В. Дегтярев, А.М. Соловейчик; Под ред. С.Л. Мурашкина. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 190 с.
9. Фролов Е.Б. MES-системы, как они есть или эволюция систем планирования производства. Часть II. / Е.Б Фролов, Р.Р. Загидуллин [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://12news.ru/doc2593.html>

**Научное издание**

**«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

Сборник статей по материалам  
XXXVIII международной научно-практической конференции

№ 9 (34)

Сентябрь 2014 г.

Подписано в печать 02.10.14. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,75. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 15  
E-mail: mail@sibac.info

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