

**Редакционный совет**

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф., *председатель*  
**Радченко С.Ю.** д-р техн. наук, проф., *зам. председателя*  
**Борзенков М.И.** канд. техн. наук, доц., *секретарь*  
**Астафичев П.А.** д-р юрид. наук, проф.  
**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Киричек А.В.** д-р техн. наук, проф.  
**Колчунов В.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Константинов И.С.** д-р техн. наук, проф.  
**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Попова Л.В.** д-р экон. наук, проф.  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф.

**Редакция**

*Главный редактор*  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф., *заслуженный деятель науки Российской Федерации*

**Заместители главного редактора**

**Гордон В.А.** д-р техн. наук, проф.  
**Киричек А.В.** д-р техн. наук, проф.  
**Подмастерьев К.В.** д-р техн. наук, проф.

**Члены редколлегии**

**Бабичев А.П.** д-р техн. наук, проф.  
**Вдовин С.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Дмитриев А.М.** д-р техн. наук, проф., член-кор. РАН  
**Емельянов С.Г.** д-р техн. наук, проф.  
**Зубарев Ю.М.** д-р техн. наук, проф.  
**Зубчанинов В.Г.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
**Иванов Б.Р.** д-р техн. наук, проф.  
**Колесников К.С.** д-р техн. наук, проф., академик РАН  
**Копылов Ю.Р.** д-р техн. наук, проф.  
**Малинин В.Г.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
**Мулюкин О.П.** д-р техн. наук, проф.  
**Осадчий В.Я.** д-р техн. наук, проф.  
**Панин В.Е.** д-р техн. наук, проф., академик РАН  
**Распопов В.Я.** д-р техн. наук, проф.  
**Смоленцев В.П.** д-р техн. наук, проф.

**Ответственный за выпуск**

**Григорьева О.Ю.**

**Адрес редакции**

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 55-05-81  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: met\_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

**Подписной индекс 29504**

по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2013

## Содержание

### Естественные науки

<i>Лавит А.И.</i> О математическом моделировании диффузии в многофазном твердом теле.....	3
<i>Морозова А.В., Тарасов Д.Е., Алисов А.А.</i> Аксиоматический базис модели квалитетрии и типизации многопараметрического социального объекта в процессе социализации и матрица соответствия ее параметров...	8
<i>Седов Ю.А., Клюев Н.А., Жернакова З.М., Потребя Е.Ю.</i> Хиноксалилформазаны: синтез, строение, свойства..	16
<i>Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Клушина Е.А., Номаконова В.Н., Сальников А.В., Сперанский А.В.</i> Расчетно-экспериментальные исследования параметров дульного выхлопа при выстреле из легкогазовой пушки MT-18M.....	25

### Моделирование технологических процессов

<i>Недоступ А.А., Ражев А.О., Наумов В.А., Орлов Е.К., Дегутис А.В.</i> Математическое моделирование процесса выборки орудия рыболовства с помощью барабана фрикционного типа.....	32
<i>Орешин А.Н., Романов Н.В., Лысанов И.Ю.</i> Разработка стратегии определения видеоставок в мультимедийном потоке информации процесса мониторинга функционирования станков с дистанционным числовым программным управлением.....	37

### Конструирование, расчеты, материалы

<i>Мальцев Д.Н.</i> Деформирование круглого сечения прямой трубы.....	44
---	----

### Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Барсуков Г.В., Журавлева Т.А.</i> Исследование влияния технологических режимов гидроабразивного резания на расщепление поверхности деталей из стеклотекстолита.....	47
<i>Бурнашов М.А., Прержбилов А.Н., Василенко Ю.В.</i> Обзор оборудования для производства ледяных гранул, применяемых в процессе водоодеяной очистки.....	56
<i>Саввин В.В., Киричек А.В., Афонин А.Н.</i> Моделирование накатывания с полнопрофильной схемой деформирования внутренних трапецидальных резьб методом конечных элементов.....	61
<i>Сычев Е.А., Тарапанов А.С., Павлов А.В.</i> Совершенствование процесса электроэрозионной обработки деталей сложной конфигурации.....	68
<i>Хасьянов У., Албагачиев А.Ю., Хасьянова Д.У.</i> Применение слэвов с эфп в конструкциях электрических разъемов.....	73
<i>Копылов Ю.Р., Мерчалов А.С.</i> Динамические свойства виброупрочняющей установки резонансного типа при упругом креплении детали к контейнеру.....	79

### Машины, аппараты, технологии пищевой и легкой промышленности

<i>Родичева М.В., Абрамов А.В., Павловская А.А.</i> Процессы переноса влаги в капиллярно-пористых коллоидных полотнох. Часть II. Влажное состояние.....	84
<i>Кваскова Т.В., Горская О.В., Пчеленок М.С.</i> Влияние расположения долевой нити на экономичность раскладки изделия из ткани с рисунком в клетку.....	89

### Инновации и кадры в машиностроении

<i>Рабинович М.И., Степанова Е.Ю.</i> Использование рейтинговой системы оценки деятельности сотрудников при создании системы материального стимулирования в техническом вузе.....	94
<i>Чирков А.П.</i> Формирование благоприятной среды для внедрения наукоемких технологий в регионе.....	101

### Приборостроение и биотехнические системы

<i>Кузнецов О.И., Солдаткин В.М.</i> Методика анализа уровня опасности критических режимов полета вертолета...	106
<i>Поляков С.А.</i> Математическая модель процесса контроля качества бензина.....	116

### Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

<i>Чернышов В.Н., Мишин В.В., Подмастерьев К.В.</i> Исследование эффективности применения нормированного интегрального времени микроконтактирования для оценки режима трения трибосопряжений подшипника качения.....	122
<i>Ивахненко А.А., Червяков Л.М.</i> Планирование качества изделий машиностроения на основе робастного проектирования.....	131
<i>Кулаков А.Ф., Полухин Т.С.</i> Применение qfd-методологии для анализа процесса «проектирование и разработка основных образовательных программ» в Госуниверситете-УНПК.....	136
<i>Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Поярков В.Н.</i> Приборы неразрушающего контроля нового поколения над процессом формирования топографии микрорельефа.....	145
<i>Алексеева Т.А.</i> Алгоритм исследования экстремальных задач с параметрами на базе схемы «дрейфующих» интервалов.....	150



The journal is published since 1995  
The journal is published 6 times a year

**№ 4 (300) 2013**

July-August

# Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – The Federal State Higher Education Professional Institution  
«State University - Education-Scientific-Production Complex»  
(State University – ESPC)

## Editorial council

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president

**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president

**Borzenkov M.I.** Candidate Sc.  
Tech., Assistant Prof., secretary

**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.

**Ivanova T.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kirichek A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Popova L.V.** Doc. Sc. Ec., Prof.

**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editorial Committee

### Editor-in-chief

**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
honored worker of science of Russian  
Federation

### Editor-in-chief Assistants

**Gordon V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kirichek A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Podmasteryev K.V.** Doc. Sc. Tech.,  
Prof.

### Member of editorial board

**Babichev A.P.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Vdovin S.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Dmitriev A.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
Corresponding Member of RAS

**Emelyanov S.G.** Doc. Sc. Ph., Prof.

**Zubarev Y.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Subchaninov V.G.** Doc. Sc. Ph. - Math, Prof.

**Ivanov B.R.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kolesnikov K.S.** Doc. Sc. Tech.,  
Prof., Academician of RAS

**Kopylov Y.R.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Malinin V.G.** Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.

**Mulyukin O.P.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Osadchy V.Ya.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Panin V.E.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
Academician of RAS

**Raspopov V.Ya.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Smolenzev V.P.** Doc. Sc. Tech., Prof.

### Responsible for edition

**Grigorieva O.Yu.**

### Address

302020 Orel,  
Naugorskoe Chossee, 29  
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,  
55-05-81

www.gu-unpk.ru

E-mail: met\_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. The certificate of registration PI № FS77-47351 from 03.11.2011

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi» 29504

© State University – ESPC, 2013

## Contents

### Natural science

<i>Lavit A.I.</i> On mathematical modelling of diffusion in multiphase solid body.....	3
<i>Morozova A.V., Tarasov D.E., Alisov A.A.</i> Axiomatic base of model of qualimetry and typifications of many-parameters social object in the process of socialization and matrix of accordance of her parameters.....	8
<i>Sedov YU.A., Klyuyev N.A., Zhernakova Z.M., Potreba E.YU.</i> Hinoksaliformazana: synthesis, structure, properties... <i>Gerasimov S.I., Erofeev V.I., Klunina E.A., Nomakonova V.N., Salnikov A.V., Speransky A.V.</i> Calculation and experimental research parameters muzzle exhaust at a shot of light gas gun MT-18M.....	16 25

### Process modeling

<i>Nedostup A.A., Razhev A.O., Naumov V.A., Orlov E.K., Degutis A.V.</i> Mathematical modeling of fishing gear sample with drum type friction.....	32
<i>Oreshin A.N., Romanov N.V., Lysanov I.Yu.</i> Strategy generation of the video insert identification in the multimedia information flow.....	37

### Construction, calculation, material

<i>Maltsev D.N.</i> Circular section deformation of stright tube.....	44
---	----

### Machine building technology and toolware

<i>Barsukov G.V., Zhuravleva T.A.</i> Study of the effect of technological parameters waterjet cutting the bundle of parts of fiberglass.....	47
<i>Burnashov M.A., Prezhbilov A.N., Vasilenko Yu.V.</i> Review of equipment for ice pellets used in the ice water cleaning.....	56
<i>Savvin V.V., Kirichek A.V., Afonin A.N.</i> Simulation of rolling with full height circuit internal deformation trapezoidal thread finite element method.....	61
<i>Sychev E.A., Pavlov A.V., Tarapanov A.S.</i> Improvement of electroerosive processing of details of the difficult configuration.....	68
<i>Khasyanov U., Albagachiev A.U., Khasyanova D.U.</i> Application of alloys with shape memory effect in the electrical connector construction.....	73
<i>Kopylov JU.R., Merchalov A.S.</i> Dynamic properties vibro strengthening installation of resonant type at elastic fastening of a detail in the container.....	79

### Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Rodicheva M.V., Abramov A.V., Pavlovskaya A.A.</i> Processes of transfer of moisture in capillary and porous colloidal cloths. Part II. Damp condition.....	84
<i>Kvaskova T.V., Gursky O.V., Pchelenok M.S.</i> Influence of layout of a share thread on profitability of layout of a product from fabric with a figure in a cell.....	89

### Innovation and frame in machine building

<i>Rabinovich M.J., Stepanova E.Y.</i> Rating system use for lecturers' activities evaluation in college bonus system formation.....	94
<i>Chirkov A.P.</i> An enabling environment for introduction of high technology in the region.....	101

### Instrument making and biotechnological system

<i>Kuznetsov O.I., Soldatkin V.M.</i> Method of analysis of level of danger of critical modes of flight of the helicopter..	106
<i>Polyakov S.A.</i> The mathematical model of express quality control gasoline.....	116

### Tests, control, diagnostics and quality control

<i>Chernyshov V.N., Mishin V.V., Podmasteriev K.V.</i> Research of effectiveness of the normalized integral time contacting to assess mode friction unit of the ball bearing.....	122
<i>Ivakhnenko A.A., Chervyakov L.M.</i> Planning quality of engineering products based on robust design.....	131
<i>Kulakov A.F., Polukhin T.S.</i> Application of qfd methodology for analysis of the process «design and development of main educational programs» in state University ESPC.....	136
<i>Stepanov Y.S., Belkin E.A., Poyarkov V.N.</i> Devices design for the active control of a microrelief formation process.....	145
<i>Alexeeva T.A.</i> Algorithm of the study of extreme problems with parameters by the «drifting» intervals scheme..	150

The journal is on the List of the peer-reviewed journals and editions stated by the High Attestation Commission at the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the publication of the main scientific results of the thesis for the academic degree.

## **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

УДК 519.63

А.И. ЛАВИТ

### **О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИФФУЗИИ В МНОГОФАЗНОМ ТВЕРДОМ ТЕЛЕ**

*В отличие от классических задач диффузии в данном случае искомая функция – концентрация испытывает сильные разрывы на межфазных границах, положение которых заранее неизвестно и находится в процессе решения. Предложенный метод позволяет моделировать эти разрывы благодаря специальному виду зависимости коэффициента диффузии от концентрации. Используется обобщенный метод Галеркина, в котором координатные функции не обязаны удовлетворять естественным граничным условиям. Интегрирование по времени выполняется по конечноразностной схеме Кранка-Николсон, а по пространственным координатам – методом конечных элементов. Приведенный пример расчета показывает удовлетворительное согласование теории с экспериментом.*

**Ключевые слова:** диффузия, образование фаз, исчезновение фаз, задача Стефана, метод Галеркина, метод конечных элементов.

Экспериментальные исследования [1] показывают, что кинетика процесса получения микрокристаллов интерметаллических соединений и дисперсных материалов с композиционной структурой определяется диффузионным взаимодействием компонентов сплава. Оно сопровождается, как правило, возникновением, ростом и исчезновением фаз. Математическое моделирование этого процесса приводит к необходимости решения задачи Стефана [2], относящейся к классу наиболее трудных задач математической физики – задач с неизвестными границами [2], притом, что границ может быть несколько и положение их изменяется со временем.

Процесс диффузии в многофазной среде описывается следующим образом. Пусть  $t$  – время,  $x_k$ ,  $k = 1, \dots, N$  – пространственные координаты (в общем случае криволинейные),  $N$  – пространственная размерность задачи. Искомая функция – концентрация диффундирующего элемента  $c(t, x_k)$  – определяется из решения уравнения диффузии

$$\frac{\partial c}{\partial t} - \nabla \cdot (D \nabla c) = 0 \quad (1)$$

где  $\nabla$  – оператор Гамильтона;

$D(c)$  – коэффициент диффузии, представляющий собой некоторую известную функцию концентрации.

Точкой обозначено скалярное произведение векторов.

Сформулируем условия на межфазных границах – условия Стефана. Межфазная граница – это некоторая гладкая непересекающаяся поверхность  $S_*$ . Пусть  $A$  – некоторая точка на этой поверхности и  $\mathbf{n}_*$  – единичная нормаль к поверхности в точке  $A$ . Направление нормали выберем так, чтобы она была направлена в сторону фазы с большим значением концентрации. Межфазная граница перемещается. Пусть ее скорость в точке  $A$  равна  $\mathbf{v}$ . Обозначим область, лежащую впереди межфазной границы (то есть там, куда указывает вектор  $\mathbf{n}_*$ ), знаком плюс, а область, лежащую позади границы, – знаком минус. При переходе через поверхность концентрация меняется скачком: с величины  $c_-$  до величины  $c_+$

$$c|_+ = c_+; \quad c|_- = c_- \quad (2)$$

где  $c_+$ ,  $c_-$  – постоянные, входящие в число исходных данных.

Закон сохранения массы при переходе через межфазную границу записывается в виде

$$(c_+ - c_-) \mathbf{n}_* \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{n}_* \cdot (D\nabla c|_+ - D\nabla c|_-) \quad (3)$$

Выражения (2), (3) представляют собой граничные условия на межфазной поверхности – условия Стефана. Если фаз несколько, условия Стефана записываются для каждой межфазной поверхности.

Помимо условий на межфазных границах функция  $c$  должна удовлетворять граничным условиям на поверхности тела. Пусть тело, в котором протекает изучаемый процесс, занимает область  $V$ , ограниченную непересекающейся поверхностью  $S$  с единичной внешней нормалью  $\mathbf{n}$ . На части поверхности  $S$ , обозначаемой  $S_p$ , заданы главные граничные условия, а на остальной ее части, обозначаемой  $S_n$ , заданы естественные граничные условия

$$S = S_p \cup S_n; \quad x_k \in S_p: c = c_p(t, x_k); \quad x_k \in S_n: \mathbf{n} \cdot \nabla c = -\frac{j_n(t, x_k)}{D} \quad (4)$$

где  $c_p(t, x_k)$ ,  $j_n(t, x_k)$  – заданные функции. Последняя из них представляет собой проекцию диффузионного потока  $\mathbf{J} = -D\nabla c$  на внешнюю нормаль к поверхности тела.

Должно выполняться также начальное условие

$$t = 0: \quad c = c_s(x_k)$$

где  $c_s(x_k)$  – заданная функция координат.

При построении непрерывного аппроксимирующего решения функция  $D(c)$  определяется неоднозначно, так как в промежутке  $(c_-, c_+)$  ее необходимо доопределить. Каждой выбранной зависимости в упомянутом промежутке будет соответствовать свое решение задачи. Можно показать, что наиболее точное численное решение получается, когда функция  $D(c)$  в упомянутом промежутке равна нулю.

Ищется слабое решение задачи – функция  $c(t, x_k)$ , непрерывная в области  $V$  и удовлетворяющая главным граничным условиям (4). В отличие от классического решения, ее производные по пространственным координатам и коэффициент диффузии  $D$ , рассматриваемый как функция пространственных координат, могут иметь разрывы первого рода.

Слабая формулировка задачи получается из уравнения

$$\int_V \left( \frac{\partial c}{\partial t} \psi + D\nabla c \cdot \nabla \psi \right) dV + \int_{S_n} j_n \psi dS = 0 \quad (5)$$

которое должно выполняться для всех возможных функций  $\psi(x_k)$ , удовлетворяющих главным граничным условиям.

Для интегрирования по времени в настоящей работе применена конечноразностная схема Кранка-Николсон. Пусть  $\Delta t$  – заданная длина временных отрезков. Обозначим

$$t^m = m\Delta t; \quad m = 0, 1, 2, \dots; \quad c^m(x_k) = c(t^m, x_k); \quad D^m = D(c^m); \quad j^m = j(t^m)$$

Для  $(m+1)$ -го отрезка можно записать приближенные равенства

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{c^{m+1} - c^m}{\Delta t}; \quad D\nabla c = \frac{1}{2} (D^{m+1} \nabla c^{m+1} + D^m \nabla c^m); \quad j_n = \frac{1}{2} (j_n^{m+1} + j_n^m)$$

где величины с индексом  $m$  – значения в начале отрезка – известны. Уравнение (5) преобразуется к виду

$$\int_V \left( D^{m+1} \nabla c^{m+1} \cdot \nabla \psi + \frac{2c^{m+1}}{\Delta t} \psi \right) dV = - \int_{S_n} (j_n^{m+1} + j_n^m) \psi dS - \int_V \left( D^m \nabla c^m \cdot \nabla \psi - \frac{2c^m}{\Delta t} \psi \right) dV \quad (6)$$

где величины, стоящие в правой части уравнения, известны. Получаемые в результате

решения уравнений (6) функции с индексом  $(m+1)$  служат начальными значениями для следующего отрезка.

Уравнение (6) решается обобщенным методом Галеркина [3]. Пусть  $\psi_{(i)}$ ,  $i=1,2,\dots$  – базис подпространства  $\{\psi\}$ . Решение задачи ищется в виде ряда

$$c^{m+1} = w^{m+1} + \sum_{i=1}^{\infty} a_{(i)}^{m+1} \psi_{(i)}(x_k) \quad (7)$$

где функция  $w^{m+1}(x_k)$  задана и подчинена требованию

$$x_k \in S_p : w^{m+1}(x_k) = c_p(t^{m+1}, x_k)$$

При этом главные граничные условия (4) удовлетворяются. В отличие от классического метода Галеркина разложение (7), как и в методе Ритца, не обязано удовлетворять естественным граничным условиям.

Так как любой элемент подпространства координатных функций  $\{\psi\}$  представляет собой линейную комбинацию базисных элементов, достаточно, чтобы уравнение (6) было справедливо для всех координатных функций  $\psi_{(l)}$ ,  $l=1,2,\dots$ . После подстановки разложения (7) в уравнение (6) и последующего интегрирования для всех функций  $\psi_{(l)}$  получается бесконечная система уравнений относительно коэффициентов разложения  $a_{(i)}^{m+1}$ . В результате ее решения находится функция  $c^{m+1}(x_k)$ . Отметим, что эта система уравнений нелинейна. Чтобы ее линеаризовать, можно, как это сделано в настоящей работе, ввести итерационный процесс для определения  $D^{m+1}$ , положив в первом приближении  $D^{m+1} = D^m$ . При достаточно малом шаге  $\Delta t$  необходимость в последующих итерациях отпадает.

В настоящем исследовании для решения уравнения (6) применялся метод конечных элементов. Координатными функциями в нем являются обобщенные функции с компактными носителями – конечными элементами. В приведенном ниже примере расчета решается одномерная задача. Пространственный отрезок, на котором ищется решение, разбивается на  $M-1$  промежутков – конечных элементов. Значения функции  $c$  в узлах получившейся одномерной сетки являются основными неизвестными задачи – аналогами коэффициентов  $a_{(i)}^{m+1}$  в формуле (7).

Рассмотрим эксперименты, описанные в статье [4]. Экспериментальный образец представлял собой три тонкие круглые пластинки диаметром 5 мм и толщиной 127 мкм, последовательно приложенные друг к другу по основаниям. Крайние пластинки были выполнены из титана (Ti), промежуточная – из никеля (Ni). Образец помещался в термостат, где выдерживался при температуре 700<sup>0</sup>С. При этом образовывались новые фазы: Ni<sub>3</sub>Ti, NiTi и NiTi<sub>2</sub>. Так как диаметр пластинок намного больше их толщины, процесс диффузии в данном случае одномерен. Пусть  $x$  – пространственная координата, отсчитываемая в направлении оси пластинок. В экспериментах измерялась ширина образовавшихся фаз (по оси  $x$ ) для разных моментов времени.

Так как рассчитываемый образец симметричен, достаточно рассмотреть его половину, две трети которой в начальный момент занимает титан (фаза 5), и одну треть – никель (фаза 1). Таким образом, рассматривается диффузия в пространственном промежутке  $x \in [0, l]$ , где  $l = 190.5 \cdot 10^{-6}$  м. Начальные условия определяются заданием функции  $c_s(x)$ , имеющей в данном случае вид

$$c_s(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 2l/3) \\ 0, & x \in [2l/3, l] \end{cases}$$

Под искомой функцией – концентрацией  $c(t, x)$  – в данном случае понимается концентрация титана в никеле.

Граничные условия на обоих концах отрезка  $[0, l]$  – естественные: диффузионный поток равен нулю (для правого конца отрезка это следует из симметрии задачи). Из равенств (4) получается

$$\left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=l} = 0$$

Фазы и диапазоны изменения концентрации титана взяты из диаграммы состояния, приведенной в работе [4]. Значение коэффициента диффузии принималось для всех фаз одинаковой и равной величине  $D = 4.76 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}$ , экспериментально найденной в работе [5] для фазы NiTi.

Относительная погрешность расчета  $< 10^{-3}$  достигнута при разбиении пространственного отрезка на 4000 конечных элементов и шаге по времени  $\Delta t = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ . Некоторые результаты расчетов представлены на рисунке 1.

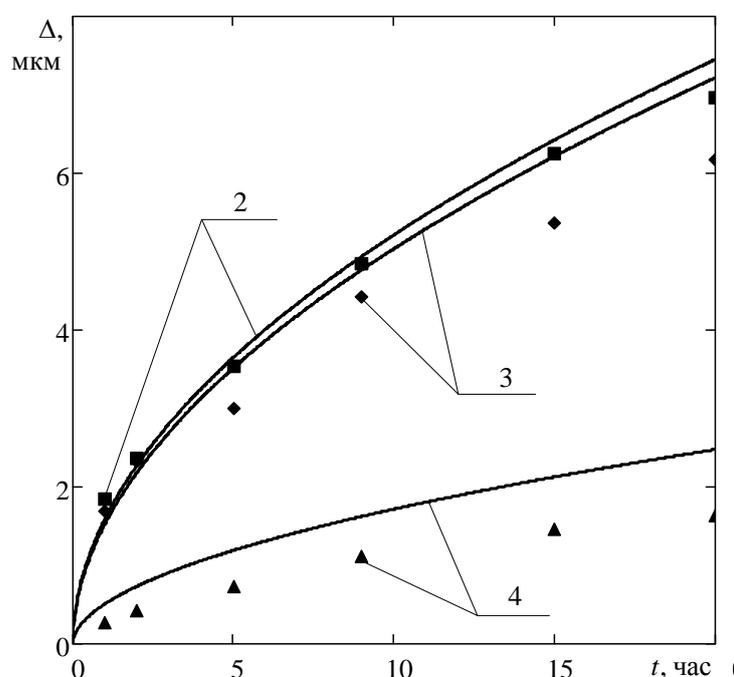


Рисунок 1 – Теоретические (сплошные линии) и экспериментальные зависимости ширины фаз  $\Delta$  от времени  $t$ ; 2-4 – номера фаз (2 –  $\text{Ni}_3\text{Ti}$ ; 3 –  $\text{NiTi}$ ; 4 –  $\text{NiTi}_2$ )

Как следует из графиков, фазы 2-4 возникают в самом начале диффузионного процесса. Их дальнейший рост происходит с различными скоростями и сопровождается уменьшением исходных фаз 1, 5. На рис. 1 показаны также экспериментальные результаты работы [4]. Можно сделать вывод о приемлемом согласовании теории с экспериментом.

Автор благодарит В.В. Жигунова за внимание к работе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимцев, А.В. Получение композиционного порошка Ni-TiC карбидизацией никелида титана / А.В. Касимцев, Ю.В. Левинский, В.В. Жигунов // Изв. ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2008. – № 4. – С. 9-14.
2. Мейрманов, А.М. Задача Стефана / А.М. Мейрманов. – Новосибирск: Наука, 1986.

3. Михлин, С.Г. Вариационные методы в математической физике / С.Г. Михлин. – М.: Наука, 1970.
4. Garay J.E., Anselmi-Tamburini U., Munir Z.A. Enhanced growth of intermetallic phases in the Ni–Ti system by current effects // Acta Materialia. 2003. V. 51. N. 15. P. 4487-4495.
5. Bastin G.F., Rieck G.D. Diffusion in the titanium-nickel system: II. Calculations of chemical and intrinsic diffusion // Metallurgical Transactions, B. 1974. V. 5. N. 8. P. 1827-1831.

**Лавит Анна Игоревна**

Тулский государственный университет  
Аспирант кафедры физики  
300012, Тула, просп. Ленина, 92  
Тел.: (84872)33-24-42  
E-mail: annlavit@rambler.ru

A.I. LAVIT

**ON MATHEMATICAL MODELLING OF DIFFUSION  
IN MULTIPHASE SOLID BODY**

*In contrast to classic diffusion problems in this case decision variable that is concentration has discontinuity on interfaces. A location of interfaces is not known previously and is determined with problem solution. With introduced method this discontinuity is simulated because of curve shape that is diffusion coefficient function where concentration is argument. Generalized Galerkin method is used because its coordinate functions not obliged to satisfy natural boundary conditions. Time integration is executed with Crank-Nicholson finite-difference scheme. Space integration is executed with finite element method. Example of calculations is demonstrated satisfactory fit between theory and experiments.*

**Keywords:** diffusion, appearance of phases, disappearance of phases, Stefan problem, Galerkin method, finite element method.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kasimcev, A.V. Poluchenie kompozicionnogo poroshka Ni-TiC karbidizaciej nikelida titana / A.V. Kasimcev, Ju.V. Levinskij, V.V. Zhigunov // Izv. VUZov. Poroshkovaja metallurgija i funkcional'nye pokrytija. 2008. – № 4. – S. 9-14.
2. Mejrmanov, A.M. Zadacha Stefana / A.M. Mejrmanov. – Novosibirsk: Nauka, 1986.
3. Mihlin, S.G. Variacionnye metody v matematicheskoj fizike / S.G. Mihlin. – М.: Nauka, 1970.
4. Garay J.E., Anselmi-Tamburini U., Munir Z.A. Enhanced growth of intermetallic phases in the Ni–Ti system by current effects // Acta Materialia. 2003. V. 51. N. 15. P. 4487-4495.
5. Bastin G.F., Rieck G.D. Diffusion in the titanium-nickel system: II. Calculations of chemical and intrinsic diffusion // Metallurgical Transactions, B. 1974. V. 5. N. 8. P. 1827-1831.

**Lavit Anna Igorevna**

Tula State University  
Postgraduate student department of physics  
300012, Tula, Lenin ave., 92  
Tel: (84872)33-24-42  
E-mail: annlavit@rambler.ru

А.В. МОРОЗОВА, Д.Е. ТАРАСОВ, А.А. АЛИСОВ

## АКСИОМАТИЧЕСКИЙ БАЗИС МОДЕЛИ КВАЛИМЕТРИИ И ТИПИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СОЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА В ПРОЦЕССЕ СОЦИАЛИЗАЦИИ И МАТРИЦА СООТВЕТСТВИЯ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

*В статье анализируется опыт разработки процедуры формализации информационных пространств системы факторов / факторных кластеров и системы характеристик/кластеров характеристик, которые приобретаются социальным объектом в процессе социализации, аксиоматического базиса модели квалиметрии многопараметрического социального объекта (МСО) в процессе социализации и матрицы соответствия параметров этих систем.*

*Сформированный коллективом авторов аксиоматический базис модели квалиметрии и типизации многопараметрического социального объекта в процессе социализации является основой для дальнейшей разработки технологии квалиметрического оценивания уровня сформированности социально-профессиональных компетенций специалистов для инновационного машиностроительного производства.*

**Ключевые слова:** алгоритм, квалиметрия, модель, социальный объект.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВИЗНА

Проблема социализации личности - одна из ведущих в современной фундаментальной науке - предполагает теоретическое и экспериментальное решение задач содержания и оптимизации этого механизма, а также оценки эффективности его реализации.

В современном социологическом знании существует несколько теоретико-методологических подходов к определению как процесса социализации в целом [6, 14, 16], так и его подпроцессов в частности (политическая [15], правовая [13], профессиональная [7, 11], гендерная [3] и др.), анализ которых позволяет сделать вывод о том, что социализация как процесс усвоения социальных и культурных норм, освоения социальных ролей, порождающий изменения в структуре личности под воздействием внешних и внутренних факторов, изменяет ее [13]. При этом специфика реализации, например, процесса профессиональной социализации «заключается в реализации этого процесса через механизм социально-профессионального синергетизма, который представляет комбинационное интегративно-адаптационное взаимодействие индивида с профессиональной средой, при котором идет не только двусторонний обмен, но и социальная трансформация сфер деятельности, общения и самосознания, характерных для данной среды» [8].

Социализация человека протекает во взаимодействии с огромным количеством разнообразных условий, более или менее активно влияющих на его развитие. Эти действующие на человека условия принято называть факторами [10]. Социологический взгляд на проблему социализации позволяет рассматривать процесс социализации на междисциплинарном уровне, анализируя всю систему факторов, воздействующих на социализируемый объект и отдавая предпочтение внешней оценке результативности процесса по отношению к социализирующей системе [9], при этом методика оценивания влияния отдельных факторов и факторных кластеров на формирование системы индивидуальных характеристик социализируемого индивида в настоящее время не разработана. Кроме того, специфика социологического анализа состоит в выделении социально-типического в многообразных процессах интеграции индивида в общество [5, 17], что осуществляется на качественной основе и не позволяет количественно анализировать результативность процесса применительно к личности конкретного человека.

Любой социальный объект целесообразно описывать с помощью системы параметров. В этом случае он может рассматриваться как многомерный или многопараметрический

объект социальной природы [2] (МСО). При этом совокупность воздействий на МСО со стороны социализирующих субъектов, а также факторы подпроцесса самосоциализации индивида целесообразно рассматривать в форме общей совокупности факторов. Учитывая многообразие и суперпозиционный характер влияния микрофакторов социализации, формирующих синергетический эффект на результат, целесообразно, рассматривать не всю эту совокупность, а факторные кластеры, которые, по мнению авторов, как правило, и анализируются в современной социологической литературе.

При этом структура и степень влияния на индивида всей совокупности микрофакторов и факторных кластеров социализации, во многом обусловленных спецификой как коллективной, так и индивидуальной социодинамики, в анализируемый момент времени детерминированы рядом факторов, имеющих мега- и макро-уровни, что можно интерпретировать как эффект «условий внешней неопределенности» в отношении анализируемого объекта.

Кроме того, используя методологию психоаналитической теории личности, можно провести анализ степени освоения социальных ролей и уровня интеграции индивида в определенную социальную группу (в т.ч. потенциала постоянства принадлежности данной социальной группе и горизонтальной социальной миграции), и выделить несколько уровней дифференциации. Так, например, для подпроцесса профессиональной социализации социализационный дифференциал может быть представлен шестью уровнями [8].

В этой связи, соотнесение анализируемого МСО к определенному уровню социализационного дифференциала в рамках рассматриваемого подпроцесса социализации позволяет выявить не только систему его параметров, приобретающих форму социальных характеристик индивида, но и установить уровни их сформированности. Таким образом, формирование уровневой системы социализационных дифференциалов подпроцессов социализации является теоретико-методологической основой качественной оценки уровня социализируемости МСО, что создает перспективу разработки методик применения квалиметрического подхода [1] к процедуре уровневой типизации социальных объектов. Такая фундаментальная задача поставлена впервые.

В рамках этой проблемы, обусловленной потребностью в научно-методическом обосновании квалиметрии и типизации многопараметрических социальных объектов процесса социализации в условиях внешней неопределенности, сформируем аксиоматический базис [4] как основу последующего математического моделирования.

## РЕШЕНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ

I. В качестве основы модели квалиметрии и типизации многопараметрических социальных объектов в процессе социализации может рассматриваться следующий **аксиоматический базис**, обеспечивающий целостность последующего многомерного анализа данных, характеризующих такие объекты.

1. Существует некоторое  $n$ -мерное ( $n \rightarrow \infty$ ) информационное пространство  $N$ , определяющее совокупность факторов, воздействующих на многопараметрический социальный объект,  $m$ -мерное ( $m \rightarrow \infty$ ) информационное пространство  $M$ , определяющее множество факторных кластеров, оказывающих суперпозиционное синергетическое воздействие на многопараметрический социальный объект, и  $l$ -мерное ( $l \rightarrow \infty$ ) информационное пространство  $L$ , определяющее множество социальных характеристик многопараметрического социального объекта.

2.  $m$ -мерное ( $m \rightarrow \infty$ ) информационное пространство  $M$  и  $l$ -мерное ( $l \rightarrow \infty$ ) информационное пространство  $L$  являются подмножествами  $n$ -мерного ( $n \rightarrow \infty$ ) информационного пространства  $N$ . Информационные пространства  $N$ ,  $M$ , и  $L$  являются информационными параметрами (аргументарно-факторными и функционально-результатирующими) процесса социализации индивида в современном социуме.

3. Существуют множества  $D$ ,  $A$  и  $B$ , элементами которых являются соответственно факторы  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , непосредственно воздействующие на МСО, факторные кластеры  $A_j$ ,  $j = \overline{1:m}$ , оказывающие суперпозиционное синергетическое воздействие на МСО, и социальные характеристики МСО  $B_k$ ,  $k = \overline{1:l}$ , которые он приобретает в результате реализации процесса социализации.

4. Каждая  $i$ -я,  $i = \overline{1:n}$ , ось  $O_N N_i$  (луч  $[O_N N_i]$ ) пространства  $N$  отображает воздействие фактора  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ . На луче  $[O_N N_i]$  определен единичный вектор  $\overline{e_{N_i}}$  с началом в точке  $O_N$ . Если точка  $D_{pi} \in [O_N N_i]$ , то вектор  $\overline{O_N D_{pi}} = q_{pi} \cdot \overline{e_{N_i}}$ , где  $q_{pi}$  - координата вектора  $\overline{O_N D_{pi}}$  на оси  $O_N N_i$ , интерпретируемая как степень воздействия фактора  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , на  $p$ -й объект (МСО).

5. Каждая  $j$ -я,  $j = \overline{1:m}$ , ось  $O_M M_j$  (луч  $[O_M M_j]$ ) пространства  $M$  отображает воздействие кластера факторов  $A_j$ ,  $j = \overline{1:m}$ . На луче  $[O_M M_j]$  определен единичный вектор  $\overline{e_{M_j}}$  с началом в точке  $O_M$ . Если точка  $A_{pj} \in [O_M M_j]$ , то вектор  $\overline{O_M A_{pj}} = s_{pj} \cdot \overline{e_{M_j}}$ , где  $s_{pj}$  - координата вектора  $\overline{O_M A_{pj}}$  на оси  $O_M M_j$ , интерпретируемая как степень воздействия кластера факторов  $A_j$ ,  $j = \overline{1:m}$ , на  $p$ -й объект (МСО).

6. Каждая  $k$ -я,  $k = \overline{1:l}$ , ось  $O_L L_k$  (луч  $[O_L L_k]$ ) пространства  $L$  отображает сформированность социальной характеристики МСО  $B_k$ ,  $k = \overline{1:l}$ . На луче  $[O_L L_k]$  определен единичный вектор  $\overline{e_{L_k}}$  с началом в точке  $O_L$ . Если точка  $B_{pk} \in [O_L L_k]$ , то вектор  $\overline{O_L B_{pk}} = h_{pk} \cdot \overline{e_{L_k}}$ , где  $h_{pk}$  - координата вектора  $\overline{O_L B_{pk}}$  на оси  $O_L L_k$ , интерпретируемая как уровень сформированности социальной характеристики  $B_k$ ,  $k = \overline{1:l}$ ,  $p$ -го объекта (МСО).

II. На основании сформулированного аксиоматического базиса модели квалиметрии и типизации многопараметрического социального объекта в процессе социализации в условиях внешней неопределенности можно осуществить дальнейшую **формализацию его информационных пространств**, которая заключается в следующем.

1. Множество факторов, воздействующих в процессе социализации на  $p$ -й объект (МСО), отображается в  $n$ -мерном пространстве  $N$  точкой  $N_p(q_{p1}; q_{p2}; \dots; q_{pr}; \dots; q_{pn})$ , где  $q_{pr}$  - проекция точки  $N_p$  на ось  $O_N N_r$ ,  $r = \overline{1:n}$ .

2. Каждая  $i$ -я,  $i = \overline{1:n}$ , ось  $O_N N_i$  имеет количественную неотрицательную шкалу значений, т.е. каждая точка  $q_i$  на  $i$ -й оси соответствует определенной степени воздействия фактора  $D_i$  на анализируемый МСО. В частности, значение  $q_{pr} = 0$  означает, что на  $p$ -й объект не осуществлялось воздействие фактора  $D_r$ ,  $r = \overline{1:n}$ , а значение  $q_{pr} \neq 0$  означает, что на  $p$ -й объект фактор  $D_r$  оказывал влияние.

Для последующего анализа значений  $q_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , целесообразно установить пороговый  $q^{\min}_i$ , продвинутый  $q^v_i$  и высокий  $q^w_i$  уровни воздействия фактора  $D_i$ . Значение  $q_{pi}$ , при котором  $q_{pi} > q^w_i$ , подразумевает, что на  $p$ -го объект фактор  $D_r$  оказал сильное воздействие.

Совокупное воздействие на  $p$ -й объект (МСО) всех факторов социализационного процесса  $X_p$  функционально зависит от значений всех координат точки  $N_i$ ,  $i = \overline{1:n}$  информационного пространства  $N$ :

$$X_p = F_1(q_{p1}; q_{p2}; \dots; q_{pr}; \dots q_{pn}) \quad (1)$$

В случае, когда на  $p$ -й объект не воздействовал фактор  $D_r$ ,  $r = \overline{1:n}$ , выражение (1) примет вид:

$$X_p = F_1(q_{p1}; q_{p2}; \dots; q_{pr-1}; 0; q_{pr+1}; \dots q_{pn}) \quad (2)$$

3. Каждая  $j$ -я,  $j = \overline{1:m}$ , ось  $O_M M_j$  имеет количественную неотрицательную шкалу значений, т.е. каждая точка  $s_j$  на  $j$ -й оси соответствует совокупной степени воздействия факторного кластера  $A_j$  на МСО. В частности, значение  $s_{pw} = 0$  означает, что на  $p$ -й объект воздействие со стороны факторного кластера  $A_w$ ,  $w = \overline{1:m}$ , отсутствует, а значение  $s_{pw} \neq 0$  означает, что на  $p$ -й объект было оказано совокупное синергетическое воздействие со стороны факторного кластера  $A_w$ .

Совокупная степень воздействия со стороны всех факторных кластеров на  $p$ -й объект (МСО), отображается в  $m$ -мерном пространстве  $M$  точкой  $M_p(s_{p1}; s_{p2}; \dots; s_{pw}; \dots; s_{pm})$ , где  $s_{pw}$  - проекция точки  $M_p$  на ось  $O_M M_w$ ,  $w = \overline{1:m}$ .

Для последующего анализа значений  $s_j$ ,  $j = \overline{1:m}$ , целесообразно установить пороговый  $s_j^{\min}$ , продвинутый  $s_j^v$  и высокий  $s_j^w$  уровни воздействия со стороны факторного кластера  $A_j$ . Значение  $s_{pj}$ , при котором  $s_{pj} > s_j^w$ , подразумевает, что на  $p$ -й объект было оказано воздействие высокого уровня со стороны факторного кластера  $A_j$ .

Совокупное синергетическое суперпозиционное воздействие  $Y_p$  со стороны всех факторных кластеров на анализируемый  $p$ -й объект (МСО), функционально зависит от значений всех координат точки  $M_j$ ,  $j = \overline{1:m}$  информационного пространства  $M$ :

$$Y_p = F_2(s_{p1}; s_{p2}; \dots; s_{pw}; \dots s_{pm}) \quad (3)$$

В случае, когда на  $p$ -й объект воздействие факторного кластера  $A_w$ ,  $w = \overline{1:m}$ , не осуществлялось выражение (3) примет вид:

$$Y_p = F_2(s_{p1}; s_{p2}; \dots; s_{pw-1}; 0; s_{pw+1}; \dots s_{pm}) \quad (4)$$

Отсюда следует, что степень воздействия  $s_j$  факторного кластера  $A_j$ ,  $j = \overline{1:m}$  функционально зависит от значений всех координат  $q_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , точки  $N_i$  информационного пространства  $N$ , которые характеризуют степень воздействия факторов  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , входящих в анализируемый факторный кластер  $A_j$ , в виде:

$$s_j = f(q_1; q_2; \dots; q_i; \dots q_n) \quad (5)$$

В случае, когда фактор  $D_r$ ,  $r = \overline{1:n}$  не входит в состав факторного кластера  $A_j$ ,  $j = \overline{1:m}$  выражение (5) примет вид:

$$s_j = f(q_1; q_2; \dots; q_{r-1}; 0; q_{r+1}; \dots q_n) \quad (6)$$

Кроме того, совокупная степень воздействия  $Y_p$  всех факторных кластеров на  $p$ -й объект (МСО), также функционально детерминирована значениями совокупного воздействия  $X_p$  на него всех факторов  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , социализационного процесса, т.е.:

$$Y_p = \Psi(X_p) \quad (7)$$

4. Каждая  $k$ -я,  $k = \overline{1:l}$ , ось  $O_L L_k$  имеет количественную неотрицательную шкалу значений, т.е. каждая точка  $h_k$  на  $k$ -й оси соответствует конкретному уровню сформированно-

сти социальной характеристики  $B_k$  МСО. В частности, значение  $h_{pv} = 0$  означает, что  $p$ -й объект не обладает социальной характеристикой  $B_v$ ,  $v = \overline{1:l}$ , а значение  $h_{pv} \neq 0$  означает, что  $p$ -й объект обладает ею.

С целью последующего анализа результативности процесса социализации МСО и реализации процедуры типизации МСО целесообразно для значений  $h_k$ ,  $k = \overline{1:l}$ , установить пороговый  $H^{\min}_k$ , продвинутый  $H^v_k$  и высокий  $H^w_k$  уровни сформированности социальной характеристики  $B_k$ , которые ставятся в соответствие с качественными уровнями социализационного дифференциала, формируемого для каждого подпроцесса социализации индивида. Например, значение  $h_{pk}$ , при котором  $h_{pk} \succ H^w_k$ , подразумевает, что у  $p$ -го объекта высокий уровень сформированности социальной характеристики  $B_k$ .

При этом уровень сформированности  $H_k$  социальной характеристики  $B_k$  МСО,  $k = \overline{1:l}$  функционально зависит от степени воздействия  $q_i$  факторов  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , как координат точки  $N_i$  информационного пространства  $N$ , на социальный объект:

$$H_k = g(q_1; q_2; \dots; q_i; \dots q_n) \quad (8)$$

В случае, когда фактор  $D_r$ ,  $r = \overline{1:n}$  не влияет на уровень сформированности социальной характеристики  $B_k$ ,  $k = \overline{1:l}$  выражение (8) примет вид:

$$H_k = g(q_1; q_2; \dots; q_{r-1}; 0; q_{r+1}; \dots q_n) \quad (9)$$

5. Множество социальных характеристик, которыми обладает  $p$ -й объект (МСО), отображается в  $l$ -мерном пространстве  $L$  точкой  $L_p(h_{p1}; h_{p2}; \dots h_{pv}; \dots; h_{pl})$ , где  $h_{pv}$  - проекция точки  $L_p$  на ось  $O_L L_v$ ,  $v = \overline{1:l}$ .

Уровень сформированности совокупности социальных характеристик  $Z_p$ , которой обладает  $p$ -й объект, функционально зависит от значений всех координат точки  $L_k$ ,  $k = \overline{1:l}$  информационного пространства  $L$ :

$$Z_p = F_3(h_{p1}; h_{p2}; \dots; h_{pv}; \dots h_{pl}) \quad (10)$$

В случае, когда  $p$ -й объект не обладает социальной характеристикой  $B_k$ ,  $k = \overline{1:l}$ , выражение (10) примет вид:

$$Z_p = F_3(h_{p1}; h_{p2}; \dots; h_{pk-1}; 0; h_{pk+1}; \dots h_{pl}) \quad (11)$$

Кроме того, уровень сформированности совокупности социальных характеристик  $Z_p$ , которым обладает  $p$ -й объект, функционально детерминирован значениями совокупного воздействия  $X_p$ , на него всех факторов  $D_i$ ,  $i = \overline{1:n}$ , социализационного процесса, т.е.:

$$Z_p = G(X_p) \quad (12)$$

Отсюда следует, что существует функциональная зависимость между уровнем сформированности совокупности социальных характеристик  $Z_p$ , которыми обладает  $p$ -й объект (МСО), и совокупной степенью воздействия  $Y_p$  всех факторных кластеров на этот объект, которую можно представить в виде:

$$Z_p = \Phi(Y_p) \quad (13)$$

Таким образом, разработанный аксиоматический базис модели типизации МСО основывается на формализации двух информационных пространств, одно из которых определяется содержанием системы факторов, оказывающих влияние на формирование МСО в процессе его социализации, а другое - системы характеристик, которые приобретает МСО в результате реализации этого процесса. В рамках аксиоматического базиса определяются

подмножества информационных пространств, непосредственно участвующих в социализационном процессе, их элементы и алгоритмы измерения описывающих их показателей.

## **ВЫВОД**

1 Модернизация социально-экономического устройства современного российского общества делает очевидным общественную потребность в научном обосновании алгоритма оценивания качества социальных объектов, характеризуемых наличием определенных социальных признаков, с целью повышения эффективности последующего вовлечения этих объектов в те или иные социальные процессы.

2 Социализационный процесс целесообразно описывать системой факторов, раскрывающей степень воздействия факторов на социальный объект, и системой характеристик, которые приобретает социальный объект в процессе социализации и характеризующих уровень сформированности его собственных характеристик. Это позволяет формализовать анализируемый процесс, интерпретировав его в форме взаимодействия двух информационных пространств, что позволяет рассматривать индивида, являющегося объектом процесса социализации, как **многопараметрический социальный объект**.

3 **Формализация** системы факторов процесса социализации МСО и системы приобретенных им социальных характеристик, которые приобретает социальный объект в процессе социализации, позволяет сформировать аксиоматический базис математической модели квалиметрии и типизации многопараметрических социальных объектов, что является основой применения количественные и экспертные методы для их описания.

4 Для каждого элемента/кластера системы факторов целесообразно введение границ показателей, соответствующих **пороговым, продвинутым и высоким значениям**, которые определяются как уровни влияния факторов, а также понятие уровня значимости их влияния на формирование элементов/кластеров системы характеристик МСО. При практическом использовании модели в анализе подпроцессов социализации целесообразно установить соответствие между уровнями **социализационного дифференциала подпроцесса**, имеющими качественный характер, и количественными значениями степени сформированности социальных характеристик индивида как результата реализации этого процесса.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-01-00147 а.*

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия жизни [Текст] / Г.Г. Азгальдов, В.Н. Бобков, В.Я. Ельмеев, Ю.С. Перовщиков, В.А. Беляков. – Ижевск: Издательство Института экономики и управления УдГУ, 2006. – 820 с.
2. Васильев, В.И. Статистический анализ многомерных объектов произвольной природы [Текст] / В.И. Васильев, В.В. Красильников и др.. – М.: Издательство ИКАР, 2004. - 382 с.
3. Жамсуева Н.К. Социализация молодежи в обществе переходного периода (общеметодологический подход): 22.00.04. - Дисс. ... канд. соц. наук. - Улан-Удэ, 1999. - 187с.
4. Киричек А.В., Морозова А.В. Аксиоматический базис квалиметрической многомерной модели социально-профессиональной компетентности молодого специалиста // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 13. - 2011. - № 4(4). - С. 1232-1235.
5. Ковалева, А.И. Концепция социализации молодежи: нормы, отклонения, социализационная траектория // Социологические исследования [Текст] / А.И. Ковалева. - 2003. - № 1. - С. 109-114.
6. Кравченко, С.А. Динамика современных социальных реалий: инновационные подходы // Социологические исследования [Текст] / С.А. Кравченко. - 2010. - № 10. - С. 14-25.
7. Кричевский Р.Л., Митина Л.М. Профессиональная социализация личности: Проблемы профессиональной социализации. - Тула, 1996. - С.7-22.
8. Морозова, А.В. Профессиональная социализация студентов ссузов в условиях модернизации институтов образования: Дисс. ... канд. соц. наук: 22.00.04 - Социальная структура, социальные институты и процессы / Тульск. гос. ун-т. - Тула, 2004. - 175 с.

9. Морозова, А.В. Управление профессиональной социализацией студентов в условиях многоуровневой практикоориентированной системы подготовки кадров для машиностроения. Монография [Текст] / А.В. Морозова; Под ред. д.т.н., проф. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 230 с.
10. Мудрик, А.В. Социализация как социально-педагогическое явление // Вестник Российского гуманитарного фонда [Текст] / А.В. Мудрик. - 1999. - № 4. - С. 142-148.
11. Паирель, С.В. Личностные особенности государственных служащих на разных этапах профессиональной социализации: Дисс.... канд. психол. наук [Текст] / С.В. Паирель. - 1996. - 256с.
12. Современная западная социология: Словарь. - М., 1990. - 432с.
13. Спасибенко, С.Г. Социализация человека // Социально-гуманитарные знания [Текст] /. - 2002. - № 5. - С. 101-122
14. Фонарев, А.Р. Формы становления личности в процессе ее профессионализации // Вопросы психологии [Текст] /. - 1997. - № 2. – С. 88-93.
15. Щеглов, И.А. Проблемы отечественных разработок политической социализации // Социально-гуманитарные знания [Текст] / И.А. Щеглов. - 2011. - № 1. - С. 85-93.
16. Щепанский, Я. Элементарные понятия социологии / Пер. с польск. В.Ф. Чевноковой. - Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1967. - 247с.
17. Ядов, В.А. Социальная идентификация личности [Текст] / В.А. Ядов. - М., 1993

**Морозова Анна Валентиновна**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР Технологического института им. Н.Н. Поликарпова

Тел.: (4862) 555524

E-mail: niotiostu@gmail.com

**Тарасов Дмитрий Евгеньевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика» Технологического института им. Н.Н. Поликарпова

Тел.: (4862) 555524

E-mail: tde82@yandex.ru

**Алисов Артур Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

заведующий лабораторией «Компьютерное обучение»

302030, г. Орел, ул. Московская, 34

E-mail: prtiostu@gmail.com

---

A.V. MOROZOVA, D.E. TARASOV, A.A. ALISOV

**AXIOMATIC BASE OF MODEL OF QUALIMETRY  
AND TYPIFICATIONS OF MANY-PARAMETERS SOCIAL OBJECT  
IN THE PROCESS OF SOCIALIZATION AND MATRIX  
OF ACCORDANCE OF HER PARAMETERS**

*Experience of development of procedure of formalization of informative spaces of the system of factors/of factor clusters and system of descriptions/of clusters of descriptions, that is acquired by a social object in the process of socialization, axiomatic base of model of qualimetry of many-parameters social object (MSO) in the process of socialization and matrix of accordance of parameters of these systems, is analysed in the article.*

*Formed by the collective of authors an axiomatic base of model of qualimetry and typification of many-parameters social object in the process of socialization is basis for further development of technology of qualimetry of evaluation of level of formed of socially-professional competences of specialists for an innovative machine-building production.*

**Keywords:** *algorithm, qualimetry, model, social object.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Azgal'dov, G.G. Kvalimetrija zhizni [Tekst] / G.G. Azgal'dov, V.N. Bobkov, V.Ja. El'meev, Ju.S. Perevoshnikov, V.A. Beljakov. – Izhevsk: Izdatel'stvo Instituta jekonomiki i upravlenija UdGU, 2006. – 820 s.
2. Vasil'ev, V.I. Statisticheskij analiz mnogomernyh ob#ektov proizvod'noj prirody [Tekst] / V.I. Vasil'ev, V.V. Krasil'nikov i dr.. – M.: Izdatel'stvo IKAR, 2004. - 382 s.
3. Zhamsueva N.K. Socializacija molodezhi v obshhestve perehodnogo perioda (obshhemetodologicheskij podhod): 22.00.04. - Diss. ... kand. soc. nauk. - Ulan-Udje, 1999. - 187s.
4. Kirichek A.V., Morozova A.V. Aksiomaticheskij bazis kvalimetricheskoj mnogomernoj modeli social'no-professional'noj kompetentnosti mladogo specialista // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Tom 13. - 2011. - № 4(4). - S. 1232-1235.
5. Kovaleva, A.I. Konceptija socializacii molodezhi: normy, otklonenija, socializacionnaja traektorija // Sociologicheskie issledovanija [Tekst] / A.I. Kovaleva. - 2003. - № 1. - S. 109-114.
6. Kravchenko, S.A. Dinamika sovremennyh social'nyh realij: innovacionnye podhody // Sociologicheskie issledovanija [Tekst] / S.A. Kravchenko. - 2010. - № 10. - S. 14-25.
7. Krichevskij R.L., Mitina L.M. Professional'naja socializacija lichnosti: Problemy professional'noj socializacii. - Tula, 1996. - S.7-22.
8. Morozova, A.V. Professional'naja socializacija studentov ssuzov v uslovijah modernizacii insti-tutov obrazovanija: Diss. ... kand. soc. nauk: 22.00.04 - Social'naja struktura, social'nye instituty i processy /Tul'sk. gos. un-t. - Tula, 2004. - 175 s.
9. Morozova, A.V. Upravlenie professional'noj socializaciej studentov v uslovijah mnogourovnevoj praktikoorientirovannoj sistemy podgotovki kadrov dlja mashinostroenija. Monografija [Tekst] / A.V. Morozova; Pod red. d.t.n., prof. A.V. Kiricheka. – M.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2010. – 230 s.
10. Mudrik, A.V. Socializacija kak social'no-pedagogicheskoe javlenie // Vestnik Rossijskogo gumanitarnogo fonda [Tekst] / A.V. Mudrik. - 1999. - № 4. - S. 142-148.
11. Pairel', S.V. Lichnostnye osobennosti gosudarstvennyh sluzhashchih na raznyh jetapah professional'noj socializacii: Diss.... kand. psihol. nauk [Tekst] / S.V. Pairel'. - 1996. - 256s.
12. Sovremennaja zapadnaja sociologija: Slovar'. - M.. 1990. - 432s.
13. Spasibenko, S.G. Socializacija cheloveka// Social'no-gumanitarnye znanija [Tekst] /. - 2002. - № 5. - S. 101-122
14. Fonarev, A.R. Formy stanovlenija lichnosti v processe ee professionalizacii // Voprosy psihologii [Tekst] /. - 1997. - № 2. – S. 88-93.
15. Shheglov, I.A. Problemy otechestvennyh razrabotok politicheskoj socializacii // Social'no-gumanitarnye znanija [Tekst] / I.A. Shheglov. - 2011. - № 1. - S. 85-93.
16. Shhepan'skij, Ja. Jelementarnye ponjatija sociologii / Per. s pol'sk. V.F. Chevnikovoj. - Novosibirsk: Nauka. Sib. otделение, 1967. - 247s.
17. Jadov, V.A. Social'naja identifikacija lichnosti [Tekst] / V.A. Jadov. - M., 1993

**Morozova Anna Valentinovna**

FSBEI HVT «State University – ESPC»

Can. Sc. soc., Deputy Director of the Institute for scientific research works Polikarpov Technological Institute

Tel.: (4862) 555524

E-mail: niotiostu@gmail.com

**Tarasov Dmitry Evgenyevich**

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Senior teacher

Phone.: (4862) 555524

E-mail: tde82@yandex.ru

**Alisov Artur Alexandrovich**

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Manager by a laboratory «CBE»

Tel.: (4862) 555553

E-mail: prtiostu@gmail.com

Ю.А. СЕДОВ, Н.А. КЛЮЕВ, З. М. ЖЕРНАКОВА, Е.Ю. ПОТРЕБА

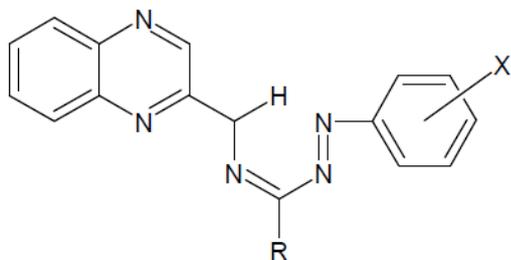
**ХИНОКСАЛИЛФОРМАЗАНЫ: СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА**

*Синтезирован новый подкласс гетероциклических формазанов с электронодонорными и электроноакцепторными заместителями в финильном кольце - хиноксалилформазаны. Строение и тонкая структура новых формазанов подтверждены элементарным анализом: ультрафиолетовым, видимым, инфракрасным и масс- спектрами, соответственно.*

*Рассмотрены электронные эффекты в молекулах формазана с электронодонорными и электроноакцепторными заместителями в растворителях разной природы.*

**Ключевые слова:** хиноксалилформазаны, гетероциклические соединения, финильное кольцо, электронодонорные, электроноакцепторные, заместители, спектры, таутомер.

Ранее авторами [1] были описаны первые представители N - хиноксалилформазанов (I). Они зарекомендовали себя, как хорошие аналитические реагенты на аминокислоты, металлы и меркаптосоединения [2], поэтому представляют интерес для дальнейшего исследования. Цель работы - изучение электронных эффектов и тонкой структуры формазанов (I) с электронодонорными и электроноакцепторными заместителями в пара и мета положениях в финильном кольце у N<sub>5</sub> - атома, общей формулы:



**Рисунок 1 – Структурная формула хиноксалилформазана**

где R = CH<sub>3</sub>: X=H (a), 4 - CH<sub>3</sub> (б), 4- OH (в), 4 - OCH<sub>3</sub> (г), 4 - N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (д), 4 - COOH (е), 4 - SO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> (ж), 4 - NO<sub>2</sub> (з), 3 - NHCOCH<sub>3</sub> (и), 3 - Cl (к), 3 - NO<sub>2</sub> (л); R=C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, X=H (м).

Новые соединения - формазаны (I в - м) получены азосочетанием соответствующих 2 - хиноксалилгидразонов с арилдиазоний хлоридами по [1]. Строение формазанов (I) подтверждено элементарным анализом, УФ и ИК - спектрами, сходством их спектров, масс-спектрами и окислением (I) в соли тетразолия (II) с последующим восстановлением (II) в исходные формазаны.

Соединения I - стабильные кристаллические вещества с т. пл. от 102 °С до 180 °С, с макс поглощения в видимой области от 400 до 480 нм (табл. 1)

Проведено сравнение спектров поглощения формазанов в видимой области в растворах бензола, циклогексана, диоксана, этанола, спиртовой щелочи и концентрированной серной кислоте. Отмечено, что максимумы  $\pi \rightarrow \pi^*$ ,  $\pi \rightarrow \sigma^*$ ,  $\sigma \rightarrow \sigma^*$  переходов у большинства формазанов претерпевают гипсохромные смещения в спиртовых растворах по сравнению со спектрами в бензоле (циклогексане) на 84 - 25 нм, с одновременным снижением величины экстинции. Величина гипсохромного смещения уменьшается в ряду заместителей:



Последнее можно объяснить уменьшением дипольных моментов формазанов в процессе электронных переходов. Исключение составляет формазан (Iд), спектр которого в спиртовом растворе претерпевает смещение, с одновременным увеличением вероятности электронного перехода.

Своеобразное действие на цветность формазанов оказывает диоксан. Так, в растворе диоксана по сравнению с растворами бензола длинноволновые максимумы спектров поглощения смещаются в коротковолновую область для формазанов (Iл, Iе, Iб, Iа) на 70 - 10 нм, где величина гипсохромного смещения уменьшается в ряду заместителей - NO<sub>2</sub> > OCH<sub>3</sub> > CH<sub>3</sub> > H; в длинноволновую область - на 34 - 10 нм для формазанов (Ik, Iи, Iз, Id) величина батохромного смещения уменьшается в ряду: Cl (м) > N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> > NHCOCH<sub>3</sub> (м) > NO<sub>2</sub>. Для формазана (Iж) максимум не изменяется. Действие диоксана можно объяснить его протонноакцепторностью, которая изменяет энергию внутримолекулярной водородной связи

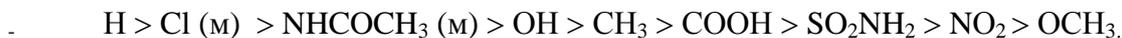
(ВВС) молекул, вследствие чего нарушается квазиароматичность формазильной группировки и меняются дипольные моменты формазанов.

Значительный батохромный сдвиг по сравнению со спиртовыми, наблюдается в растворах спиртовой щелочи (на 169 - 96 нм) и растворах концентрированной серной кислоты (на 181 - 66 нм). Величина углубления окраски ионов падает в ряду ионов с заместителями:

для анионов:



для катионов:



Анионы формазанов устойчивы, катионы в избытке серной кислоты разрушаются с течением времени.

Ожидаемой, согласно теории цветности и последовательности углубления окраски формазанов с ростом донорности или акцепторности заместителей в фениле у N<sub>5</sub>- атома формазильной группировки не наблюдается ни в одном из приведенных растворителей. В случае органических растворителей это можно объяснить структурной неоднородностью молекул за счет разноэнергетической ВВС, протонной таутомерии, пространственной изомерии. В случае спиртовой щелочи и серной кислоты строение ионов формазанов также неоднотипно, за счет химического взаимодействия заместителей и гетероциклического радикала с растворителем. Вследствие перечисленных причин передача электронных эффектов заместителей X неоднозначна.

Рассмотрение ИК - спектров формазанов I (а - м) (табл. 3) и сравнение их со спектрами описанных формазанов [3], показало, что они имеют общие, характерные для гетероциклических и арильных формазанов, скелетные и групповые полосы поглощения в областях, (см<sup>-1</sup>): 3480 - 3430, 3300 - 3350, 1610 - 1590, 1515 - 1490, 1280 - 1255, 1245 - 1213, 1215 - 1190, 1180 - 1150, 1040 - 1010, 930 - 905, 870 - 850, 780 - 760, 690 - 670, 610 - 590, 540 - 510, 435 - 420.

Все хиноксалилформазаны имеют и специфическую полосу поглощения в области 1450 - 1420 см<sup>-1</sup>, которую следует отнести к валентным колебаниям хиноксалинового цикла. Проведена количественная оценка прототропной таутомерии формазанов (I а, б, в, г, д, к, л) с помощью масс - спектрометрического метода. Анализ масс - спектров этих формазанов (табл. 4,5) показывает, что перегруппировочных процессов в ионе [M]<sup>+</sup> не происходит. Картина фрагментации остается аналогичной ранее исследованным представителям этого класса соединений [4]. Молекулярный ион представлен в виде S - цис - транс - конформера и существует в трех таутомерных формах А - В:

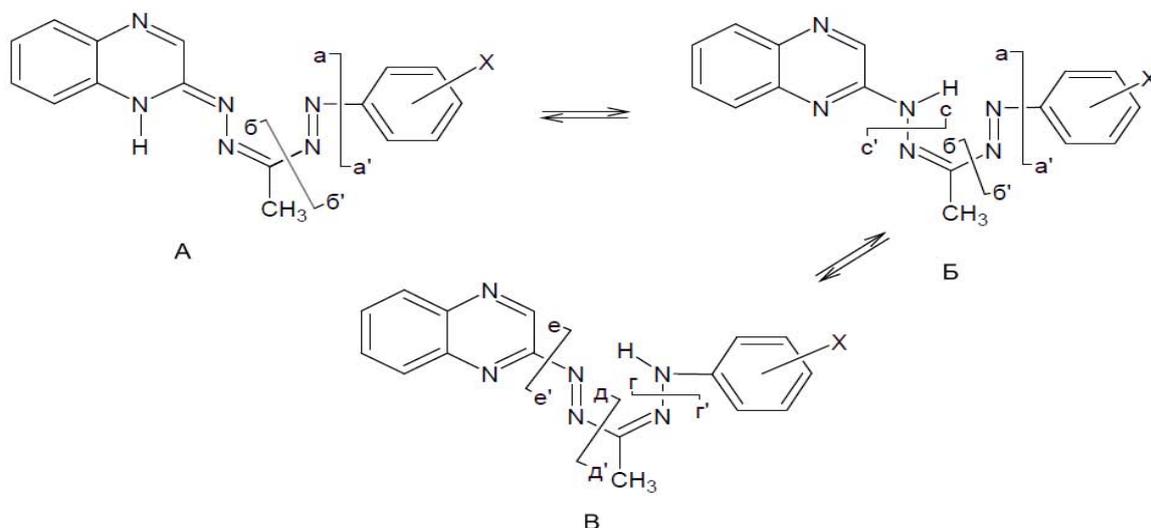


Рисунок 2 – Таутомерные формы хиноксалилформазана

Для определения доли каждого таутомера в составе  $[M]^+$  определены ионы, ответственные за конкретную форму. Для имино - формы (А) ими являются ионы, обусловлены  $\alpha$  - разрывом связей относительно азо - группы (а-а' и б-б'):  $[C_6H_4 X]^+ a'$ ;  $[a'+H]^+$ ;  $[a' - H]^+$ ;  $[(H) Het = N - N = CH - CH_3]^+ (б)$ ;  $[б - н]^+$ ;  $[N_2 C_6 H_4 X]^+ (б')$ ;  $[б' + н]^+$ .

Для amino - формы (Б) специфичны ионы, обусловленные также  $\alpha$  - разрывом связей относительно азо - группы (а-а' и б-б', с - с'):  $[a']^+$ ;  $[a + н]^+$ ;  $[a' - н]^+$ ;  $[б]^+$ ;  $[б' - н]^+$ ;  $[б^-]^+$ ;  $[б - н]^+$ ;  $[Het - NH]^+ (с)$ ;  $[с - н]^+$ .

Для таутомера В характерен набор ионов, возникающих при разрыве связей  $\gamma - \gamma'$ ,  $\delta - \delta'$ ,  $\epsilon - \epsilon'$ :  $[-NH - CH - X]^+ (\gamma')$ ;  $[\gamma' - н]^+$ ;  $[Het]^+ (е)$ , и дополнительных ионов, возникающих за счет миграции водорода от  $CH_3$ - группы при мезо - атоме:

$[б - н]^+$ ;  $[б' - н]^+$ ;  $[с - н]^+$ ;  $[a' - н]^+$ ;  $[\gamma' - н]^+$  и  $[\delta' - н]^+$ .

Для количественного определения доли вклада каждого таутомера, правомерно учитывать не только сумму первичных осколочных ионов ( $\Sigma_1$ ), но и сумму ионов обусловленных миграцией водорода ( $\Sigma_2$ ), а, также, вторичных ионов ( $\Sigma_3$ ), определяющих конкретную форму таутомера. В таблице 4 приведены все три значения сумм  $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$ .

Видно, что расхождения между этими величинами составляет 5 - 13 %, т. е. обычная воспроизводимость для масс - спектров. Из таблицы 3 видно, что в общем случае для формазанов (I) доминирует форма (А + Б). Очень высокая интенсивность ионов  $[C]^+$  и  $[C - H]^+$  свидетельствует в пользу того, что таутомер Б фактически полностью преобладает, т. е. вклад формы А минимален. Заметно понижение формы (А + Б) в случае заместителя, обладающего акцепторными свойствами (Iл).

Принято считать, что в условиях электронного удара (ЭУ) ион  $[M]^+$  находится в возбужденном состоянии. Авторы провели рассмотрение таутомерных форм формазанов (I а, б, в, г, д, к, л) и с помощью масс - спектров химической ионизации.

В условиях химической ионизации протонированный  $[M + H]^+$  (при ХИ - ПИ) или депротонированный  $[M - H]^-$  (при ХИ - ОН) находятся в основном состоянии. В таблице 5 приведены данные по масс - спектрам ХИ - ПИ и ХИ - ОН.

Из сопоставления интенсивности ионов  $[(C + H) + H]^+$  и  $[C]^-$  видно, что доминирует форма Б. Интересно отметить, что в масс - спектрах ХИ - ОН вместо ожидаемого иона  $[M - H]^-$  фиксируется  $[M]^-$ . Очевидно, что это специфика характеризует формазаны, как класс органических соединений.

Выводы по анализу масс - спектров согласуются с данными ИК - спектров в КВЧ для формазанов (I), имеющих широкие полосы поглощения в областях  $3480 - 3430 \text{ см}^{-1}$  и  $3300 - 3350 \text{ см}^{-1}$ , где первая полоса отвечает за имино - форму (таутомер А), вторая - за amino форму (таутомер Б).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры в УФ - и видимой области сняты на СФ - 10, ИК спектры на UR - 20 в КВЧ. Масс - спектры электронного удара получены на спектрометре фирмы "Varian" модель МАТ - 311А; масс - спектры химической ионизации - на квадрупольном масс - спектре "Финнигам - 4021".

Формазаны (I) получены по [1]. Очистка проводилась кристаллизацией и хроматографически. Чистота продуктов контролировалась с помощью ТСХ. Физико-химические данные представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 - Соединения I в - л

№	X	R <sub>f</sub>	Т. пл., °С	Брутто - формула	Найдено, %			Вычислено, %			Выход, %
					С	Н	N	С	Н	N	
Ив	- OH (п)	0,25	124 - 126	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> N <sub>6</sub> O	62,7	4,8	27,3	63,0	5,0	27,0	56
Иг	- OCH <sub>3</sub> (п)	0,54	161 - 163	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> N <sub>6</sub> O	63,8	4,7	26,3	64,0	5,0	26,02	79
Ие	COOH (п)	0,62	181 - 183	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> N <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	60,7	3,8	25,2	61,0	4,0	25,0	87
Иж	SO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> (п)	0,65	140 - 141	C <sub>16</sub> H <sub>15</sub> SN <sub>7</sub> O <sub>2</sub>	51,9	3,7	26,7	52,0	4,0	27,2	80
Из	NO <sub>2</sub> (п)	0,56	153 - 155	C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> N <sub>7</sub> O <sub>2</sub>	56,8	3,8	29,4	57,0	4,0	29,0	49
Ии	NHCOCH <sub>3</sub> (м)	0,42	102 - 104	C <sub>18</sub> H <sub>17</sub> N <sub>7</sub> O	62,2	5,1	27,7	62,0	5,0	28,1	50
Ик	Cl (м)	0,65	177 - 178	C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> N <sub>6</sub> Cl	58,7	3,9	25,8	59,0	4,0	26,0	34
Ил	NO <sub>2</sub> (м)	0,68	164 - 165	C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> N <sub>7</sub> O <sub>2</sub>	56,8	3,8	28,7	57,0	4,0	29,0	82

Таблица 2 - Соединения I а - м

№	X	Спектры поглощения в растворителях, Л макс (ε · 10 <sup>4</sup> ) нм				Конц. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
		Циклогексан	Диоксан	Этанол	Спиртовая щелочь	
1	2	3	4	5	6	7
Иа	H	255 92,78), 300 (1,8), 370 (1,98), 435 (2,5)	245 (2,8), 260 (2,7), 390 (2,8), 425 (2,6)	250(3,9), 380(5,0), 392(4,3),410 (4,3)	540 (6,7), 535(6,1)	591(1,6)
Иб	CH <sub>3</sub>	250 (2,9), 317(1,3), 367 (1,3), 435 (2,0)	390 (2,8), 408(2,6), 455 (2,5)	250 (3,3), 399 (4,0)	537 (2,0), 538 (5,85)	530 (0,32)
Ив	OH	-	340 (0,9)	370 (1,6), 400 (3,2), 415 (2,2)	552 (1,4)	378(2,2), 525(0,8), 545(0,94),576(0,7)
Иг	OCH <sub>3</sub>	370 (0,2), 442 (0,6), 500 (0,27)	340 (0,7), 440 (1,1)	410 (3,5), 444 (1,1)	540 (2,6)	362 (1,0),510 (0,6)
Ид	N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	265 (2,3), 380 (1,4), 467 (2,8)	265(2,1), 398 (1,6), 465 (3,0), 485 (2,5)	270 (4,1), 475 (5,3), 495 (5,6), 518 (4,9)	558 (3,6)	404 (2,2)
Ие	COOH	-	252 (1,5), 402 (1,8)	250 (2,0), 402 (2,4)	550 (2,2)	522 (1,9)
Иж	SO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	390 (0,68), 460 (0,4), 480 (0,33)	400 (2,2), 480 (0,6)	400 (1,64), 415 (1,4)	551 (0,9)	368 (1,3), 510 (0,9), 532 (0,8).
Из	NO <sub>2</sub>	420 (1,0), 500 (0,5)	410 (1,6), 510 (0,3)	240 (2,9), 320 (0,9), 403 (0,5), 418 (0,4).	587 (1,1)	368 (1,3), 524(0,7)
Ии	NHCOCH <sub>3</sub> (мета)	390 (0,4), 480 (0,2)	390 (1,0), 494 (0,2)	380 (0,9), 396 (1,0)	542 (0,7)	370(1,1), 480(0,6), 536(0,6), 558(0,4).

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Ик	Cl (мета)	394 (1,2), 428 (0,9), 456 (0,6).	390 (1,0), 490 (0,2)	490 (6,5), 408 (4,9)	547 (3,4)	376(1,6), 550(0,8), 586 (0,6)
Ил	NO <sub>2</sub> (мета)	392 (0,6), 560 (0,3)	398 (2,5), 490 (0,5)	415 (0,6), 430 (2,1)	558 (3,1)	-
Им	R = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> X = H	300 (2,8), 325 ( 2,5), 476 (1,5)	290 (1,0), 400 (0,4), 460 (0,7)	285 (1,4), 452 (1,4)	535 (575)	643 (1,8)

Таблица 3- Ик - спектры соединений I а - л

Ia	Iб	Iв	Iг	Ид	Iе	Иж	Ик	Ил
Ф - н	Ф - CH <sub>3</sub>	Ф - OH	Ф - OCH <sub>3</sub>	Ф-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ф - COOH	Ф -SO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	Ф - Cl(м)	Ф - NO <sub>2</sub> (м)
-	-	1700 осл 1650 ср.	-	-	-	-	-	-
1608 ср.	-	-	-	1609 ср.	-	1615 ср.	1612с.	-
1590 ос.	-	1580 с.	-	1582 ср. 1570 ср.	-	-	-	1585 ср.
1500 ср.	1515 осл.	1530 с. 1512 ср.	-	1528 сл. 1500 сл.	1530 осл.	1545 осл.	-	1534 ср.
1470 сл.	1465 осл.	1450 сл.	1465 сл.	1448 сл.	1460 сл	1460 осл.	1445 ср.	1465 осл.
1432 с.	1428 ср.	1423 ср.	1440 с.	1415 осл.	1460 сл	1460 осл.	1430 с.	1460 осл.
1378 осл.	1380 осл.	1378 сл.	1375 осл.	1372 сл.	1380 сл.	1375 ср.	1375 осл.	1377 сл.
1358 ср.	-	-	-	1350 ср.	1350 ср.	1360 ср.	1356 с.	1360 с.
1340 сл.	-	-	1329 сл.	1328 ср.	1320 с.	1313 ср.	1335 ср.	1325 сл.
1313 осл.	1270 осл.	1285 ср. 1255 сл.	-	-	1290 с.	1270 осл.	-	-
1288 осл.	-	-	-	-	-	-	-	-
1266 сл.	-	-	-	-	-	-	-	-
1236 с.	1215	1220 ср.	1220 ср.	1238 сл. 1215 осл.	1210 ср.	1210 с.	1213 ср.	1213 ср.
1210 осл.	-	-	1210 ср.	-	-	-	-	1198 с.
1202 с.	-	1180 осл.	-	1185 осл.	-	-	1160	1185 с.
1170 с.	-	-	-	-	-	-	-	-
1157 с.	-	-	1160 с.	-	-	-	-	-
1135 сл	-	-	-	-	1142 с.	-	1135 ср.	1145 сл.
1112 сл.	-	-	1115 ср.	-	-	-	-	-
1080 осл.	-	1095 сл.	-	1090 сл.	-	-	1000 сл.	1090 осл.
		1050 осл.						1082 сл.

Таблица 4- Масс - спектры формазанов I \*

Ионы (их условные обозначения)	Номер соединения							Лл NO <sub>2</sub> (м)	Примечание
	I а (н)	Iб CH <sub>3</sub>	Iг OCH <sub>3</sub>	Ик Cl (м)	Ид N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7	8		
1	2	3	4	5	6	7	8		
[M] <sup>+</sup>	290 (15)	304 (3)	320 (8)	324 (4)	333 (14)	335 (2)			
Таутомер (А + Б)									
[δ] <sup>+</sup>	185 (97)	185 (100)	185 (100)	185 (100)	185 (100)	185 (100)	185 (100)	185 (100)	
[c] <sup>+</sup>	144 (98)	144 (98)	144 (98)	144 (97)	144 (97)	144 (90)	144 (90)	144 (90)	
[a] <sup>+</sup>	77 (1000)	91 (88)	107 (48)	111:113 (30:10)	120 (88)	122 (11)	122 (11)	122 (11)	
[δ] <sup>+</sup>	105 (22)	119 (5)	135 (-)	139 : 141 (-)	148 (9)	150 (5)	150 (5)	150 (5)	
[δ - н] <sup>+</sup>	184 (92)	184 (54)	184 (90)	184 (32)	184 (94)	184 (63)	184 (63)	184 (63)	
[δ <sup>1</sup> + н] <sup>+</sup>	106 (36)	120 (19)	136 (26)	140 (7)	149 (58)	151 (7)	151 (7)	151 (7)	
[c - н] <sup>+</sup>	143 (95)	143 (65)	143 (98)	143 (45)	143 (97)	143 (82)	143 (82)	143 (82)	
[a <sup>1</sup> + н] <sup>+</sup>	78 (91)	92 (20)	108 (41)	112 : 114 (11:4)	121 (70)	123 (5)	123 (5)	123 (5)	
[a <sup>1</sup> - н] <sup>+</sup>	76 (34)	90 (81)	106 (5)	110 : 112 (-)	119 (14)	121 (-)	121 (-)	121 (-)	
[C - HCN] <sup>+</sup>	117 (93)	117 (35)	117 (36)	117 (33)	117 (30)	117 (97)	117 (97)	117 (97)	
[(C-H) - HCN] <sup>+</sup>	116 (72)	116 (27)	116 (44)	116 (18)	116 (50)	116 (94)	116 (94)	116 (94)	
[a <sup>1</sup> - CH <sub>3</sub> ] <sup>+</sup>	62 (13)	76 (12)	92 (43)	96 (-)	105 (88)	107 (-)	107 (-)	107 (-)	
[a <sup>1</sup> - н) - CH <sub>3</sub> ] <sup>+</sup>	61 (5)	75 (-)	91 (15)	95 (-)	104 (19)	106 (5)	106 (5)	106 (5)	
[a <sup>1</sup> - HCN] <sup>+</sup>	50 (13)	64 (16)	80 (10)	84 (-)	93 (13)	95 (-)	95 (-)	95 (-)	
[(a <sup>1</sup> - H) - HCN] <sup>+</sup>	49 (-)	63 (30)	97 (-)	83 (-)	92 (16)	94 (-)	94 (-)	94 (-)	
[(a <sup>1</sup> - CH <sub>3</sub> ) - HCN] <sup>+</sup>	35 (-)	49 (-)	65 (10)	69 (-)	78 (19)	80 (-)	80 (-)	80 (-)	
[(a <sup>1</sup> - н) CH <sub>3</sub> - HCN] <sup>+</sup>	34 (-)	48 (-)	64 (12)	68 (-)	77 (73)	79 (19)	79 (19)	79 (19)	
[c - 2 HCN] <sup>+</sup>	90 (99)	90 (81)	90 (67)	90 (67)	90 (65)	90 (99)	90 (99)	90 (99)	
[c - н) - 2 HCN] <sup>+</sup>	89 (30)	89 (16)	89 (-)	89 (10)	89 (19)	84 (52)	84 (52)	84 (52)	
[Σ <sub>1</sub> ] <sup>+</sup> %	95,2	87,2	91,4	87,3	91,9	64,6	64,6	64,6	
[Σ <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> %	82,0	90,1	93,1	85,0	93,7	73,8	73,8	73,8	
[Σ <sub>3</sub> ] <sup>+</sup> %	81,0	88,4	91,9	83,3	92,9	68,3	68,3	68,3	
Таутомер В									
[r] <sup>+</sup>	92 (94)	106 (38)	122 (16)	126 : 128 (20 : 6)	135 (22)	137 (84)	137 (84)	137 (84)	
[r <sup>+</sup> + н] <sup>+</sup>	93 (42)	107 (15)	123 (14)	127 : 129 (24 : 13)	136 (16)	138 (19)	138 (19)	138 (19)	
[C] <sup>+</sup>	129 (11)	129 (5)	129 (7)	129 (14)	129 (4)	129 (26)	129 (26)	129 (26)	
[C - HCN] <sup>+</sup>	102 (46)	102 (19)	102 (18)	102 (14)	102 (15)	102 (83)	102 (83)	102 (83)	
[C - 2HCN] <sup>+</sup>	75 (28)	75 (13)	75 (17)	75 (27)	75 (15)	75 (95)	75 (95)	75 (95)	
[Σ <sub>1</sub> ] <sup>+</sup> %	4,8	12,8	8,6	12,7	8,1	35,4	35,4	35,4	
[Σ <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> %	18,0	9,9	6,9	15,0	6,3	26,2	26,2	26,2	

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
$\sum_3 I\%$	19,0	11,6	8,1	16,7	7,1	31,7	
$\sum_1(A+B) : \sum_1(B)$ (%)	95,2 : 4,8	87,2 : 12,8	91,4 : 8,6	87,3 : 12,7	91,9 : 8,1	64,6 : 35,4	
$\sum_2(A+B) : \sum_2(B)$ (%)	82,0 : 18,0	19,1 : 9,9	93,1 : 6,9	85,0 : 15,0	93,7 : 6,3	73,8 : 26,7	
$\sum_3(A+B) : \sum_3(B)$ (%)	81,0 : 19,0	88,4 : 11,6	91,9 : 8,1	83,3 : 16,7	92,9 : 7,1	68,3 : 31,7	

\*) Число за скобками указывает массовое число иона, число в скобках - интенсивность пиков в % от максимального; приведены пики ионов с интенсивностью 3%.

Таблица 5- Масс - спектры химической ионизации положительных и отрицательных ионов формазанов I (соединения)

Ионы (их условные обозначения)	I a	H	I б	СН <sub>3</sub>	I г	ОСН <sub>3</sub>	Ик	Cl (м)	Ид	N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Лл	NO <sub>2</sub> (м)
		ХИ-ПИ	ХИ-ОН	ХИ-ПИ	ХИ-ОН	ХИ-ПИ	ХИ-ОН	ХИ-ПИ	ХИ-ОН	ХИ-ПИ	ХИ-ОН	ХИ-ПИ
[M + 2] <sup>+</sup>	292 (20)		306 (23)						334 (20)			
[M + H] <sup>+</sup>	291 (100)	291 (11)	305 (100)	305 (25)	321 (16)		325:327 (100:33)				336 (20)	
[M] <sup>-</sup>		290 (50)		304(100)		320 (35)		324:326 (100:30)	186 (8)	333 (88)		335 (100)
[δ + H] <sup>+</sup>	186 (8)		186 (11)		186 (10)		186 (15)		185 (67)		186 (13)	
[δ] <sup>+</sup>	185 (55)		185 (82)		185 (70)		185 (77)		146 (36)		185 (100)	
[(C+H) +H] <sup>+</sup>	146 (21)		146 (38)		146 (53)		146 (42)				146 (67)	
[δ - H] <sup>-</sup>		184 (5)		184(5)		184(7)		184 (5)		184(4)		184 (4)
[C] <sup>-</sup>		144 (66)		144 (60)		144 (108)		144 (21)	131 (5)	144 (100)		144 (57)
[(C+H) +H] <sup>+</sup>	131(5)		181 (6)		131 (7)		131 (12)				131 (9)	
[C <sup>+</sup> +H] <sup>-</sup>		147 (14)										
[e] <sup>-</sup>		129 (6)		129 (5)		129 (7)		129 (3)		129 (5)		129 (5)
[δ - СН3) +H]			171 (12)									
[(e+H) +H] <sup>+</sup>			103 (23)		124(100)		128:130 37:12		137 (77)	171 (5)	139 (68)	
[(δ + H)-CH <sub>3</sub> ]				171 (10)								
$\sum_3(A,B) / \sum_3(B)$ , %	94,4 / 5,6	93,4 / 6,4	83,2, / 17,8	93,8 / 6,2	55,4 / 46,6	93,8 / 6,2	73,2 / 26,8	89,6 / 10,4	57,5 / 42,5	95,6 / 4,4	68,8 / 31,1	92,4 / 7,2

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седов, Ю.А. Химия гетероциклических соединений / Ю.А. Седов, А.И. Заболотская, Н.В. Коба. – 1973, №12. – С. 1705 - 1707
2. Авт. Свид. СССР № 1144037, 1985; Авт. Свид. СССР № 1239564, 1986; Авт. Свид. СССР, 1987; Жернакова З. М., Дубинина Л.Ф., Седов Ю.А., Ж. "Генетика и санитария", 1985 № 11 с. 68;
3. LeFevre R. J., Sousa J.B., Werner R. L., Austral. J. Chem, 1956, n.9, p. 151 - 159; Otting W., Neugebauer F. A., Chem. Ber, 1969, v. 102, p. 2520 - 2529; Arnold G., Scliuele C., 1969, v. 25A, p. 661 - 669; Кукушкина И.И., Юрченко Э. Н., Ермакова М.Н., Латош Н.И., ЖФХ, 1972, т. 46, №1, с. 176 - 178.
4. Клюев Н.А., Караваева Е.С., Жильников В.Г., Беднягина Н.П., Жорх, 1981, т. 17, № 8, с. 1757 - 1762; Клюев Н.А., Жильников В. Г., Александров Г.Г., Грандберг И.И., Липунова Г. Н., Жорх, 1983, т.19, в.12, с.2615 - 2623; Липунова Г.Н., Клюев Н.А., Александров Ю.И., Шарова Л.И., Еремина В.Г., Беднягина Н.П., Русинова Л.И., Ситейкин Г.И. ЖОХ, 1985 т. 55, в.6, с. 1414 - 1416.

### Седов Юрий Андреевич

ФГБОУ ВПО "Госунiversитет-УНПК", Орел  
Кандидат химических наук, доцент  
Телефон 337301  
e-mail: chemistry@ostu.ru

### Клюев Николай Алексеевич

Российская академия наук, г. Москва  
кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела спектроскопии твердого тела РАН  
Телефон 337301

### Жернакова Зинаида Михайловна

ФГУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург  
кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела курортных ресурсов  
Телефон 337301

### Потреба Евгения Юрьевна

ФГБОУ ВПО "Госунiversитет-УНПК", Орел  
соискатель кафедры "Химия и биотехнология"  
Телефон 337301  
e-mail: chemistry@ostu.ru

YU.A. SEDOV, N.A. KLYUYEV, Z.M. ZHERNAKOVA, E.YU. POTREBA

## HINOKSALILFORMAZANA: SYNTHESIS, STRUCTURE, PROPERTIES

*The new subclass heterocyclic formazans with electron-donating and electron-accepting deputies in a phenyl ring - quinoxalylformazans is synthesized. The constitution and thin structure of new formazans are confirmed with the elementary analysis: ultra-violet, visible, infrared and masses ranges, respectively.*

*Electronic effects in molecules of formazans with electron-donating and electron-accepting deputies in solvents of the different nature are considered.*

**Keywords:** quinoxalylformazans, heterocyclic compounds, phenyl ring, electron-donating and electron-accepting deputies, ranges, tautomers.

## BIBLIOGRAPHY

1. Sedov, Ju.A. Himija geterociklicheskih soedinenij / Ju.A. Sedov, A.I. Zabolotskaja, N.V. Koba. – 1973, №12. – S. 1705 - 1707
2. Avt. Svid. SSSR № 1144037, 1985; Avt. Svid. SSSR № 1239564, 1986; Avt. Svid. SSSR, 1987; Zhernakova Z. M., Dubinina L.F., Sedov Ju.A., Zh. "Genetika i sanitarija", 1985 № 11 s. 68;
3. LeFevre R. J., Sousa J.B., Werner R. L., Austral. J. Chem, 1956, n.9, p. 151 - 159; Otting W., Neugebauer F. A., Chem. Ber, 1969, v. 102, p. 2520 - 2529; Arnold G., Scliuele C., 1969, v. 25A, p. 661 - 669; Kukushkina I.I., Jurchenko Je. N., Ermakova M.N., Latosh N.I., ZhFH, 1972, t. 46, №1, s. 176 - 178.

4. Kljuev N.A., Karavaeva E.S., Zhil'nikov V.G., Bednjagina N.P., Zhorh, 1981, t. 17, № 8, s. 1757 - 1762; Kljuev N.A., Zhil'nikov V. G., Aleksandrov G.G., Grandberg I.I., Lipunova G. N., Zhorh, 1983, t.19, v.12, s.2615 - 2623; Lipunova G.N., Kljuev N.A., Aleksandrov Ju.I., Sharova L.I., Eremina V.G., Bednjagina N.P., Rusinova L.I., Sitejkin G.I. ZhOH, 1985 t. 55, v.6, s. 1414 - 1416.

**Sedov Yuri Andreevich**

Federal state educational institution "University-unpk", eagle  
Candidate of chemical Sciences, associate Professor  
Telephone 337301  
e-mail: chemistry@ostu.ru

**Klyuev Nikolay Alekseevich**

Russian Academy of Sciences, Moscow  
candidate of chemical Sciences, senior researcher of the Department of solid state spectroscopy RAS  
Telephone 337301

**Zhernakova Zinaida Mikhailovna**

FSIS Yekaterinburg medical research center of health protection of workers of industrial enterprises» Rospotrebnadzor, Ekaterinburg, Russia  
candidate of chemical Sciences, senior researcher of the Department of Spa resources  
Telephone 337301

**Potreba Eugene Yurievna**

Federal state educational institution "University-unpk", eagle  
chair of Chemistry and biotechnology"  
Telephone 337301  
e-mail: chemistry@ostu.ru

УДК 532.546; 533.6.011

С.И. ГЕРАСИМОВ, В.И. ЕРОФЕЕВ, Е.А. КЛУНИНА,  
В.Н. НОМАКОНОВА, А.В. САЛЬНИКОВ, А.В. СПЕРАНСКИЙ**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ДУЛЬНОГО ВЫХЛОПА ПРИ ВЫСТРЕЛЕ ИЗ  
ЛЕГКОГАЗОВОЙ ПУШКИ МТ-18М**

*Рассмотрены результаты расчетно-экспериментального исследования параметров дульного выхлопа и дульной ударной волны при выстреле из легкогазовой пушки (ЛГП) МТ-18М калибра 100 мм. Предложен подход к формированию расчетной области для решения задач распространения дульного выхлопа и дульной ударной волны, их взаимодействия с оборудованием, используемым для получения внешнетраекторных данных в опыте. Дана качественная оценка параметров дульной ударной волны при ее распространении в направлении выстрела, перпендикулярном и противоположном направлениях. Представлены данные фотоэлектронной регистрации фаз развития дульного выхлопа и распространения дульной ударной волны.*

**Ключевые слова:** ударная волна, легкогазовая пушка, выстрел, расчет, эксперимент.

В аэробаллистических опытах на испытательном комплексе ВНИИЭФ проводятся эксперименты с использованием крупнокалиберной легкогазовой пушки (ЛГП) МТ-18М. Максимальная скорость, при которой проводятся испытания, составляет ~10М. До такой скорости могут быть разогнаны объекты массой до 2,4 кг. После выхода метаемого объекта (МО) из ствола ЛГП дульный выхлоп и связанная с ним воздушная (дульная) ударная волна воздействуют на расположенное вблизи от нее оборудование, здания и сооружения. Для оценки их стойкости к такому воздействию необходимо рассчитать параметры дульного выхлопа для выстрела максимального могущества из ЛГП МТ-18М.

При проведении испытаний ЛГП МТ-18М выкатывается по рельсовым направляющим стапеля из ангара так, что дульный срез находится на расстоянии ~7м от его торца. Оценку воздействия дульной ударной волны необходимо провести для здания аэробаллистического тира /1/, находящегося по отношению к дульному срезу ЛГП на расстоянии ~70м вбок и ~40м вперед по направлению стрельбы (рисунок 1), и торцевой стенки самого ангара.

Знание воздействия, оказываемого дульным выхлопом и дульной ударной волной на оборудование, а также расстояния, на котором МО выходит за фронт дульной ударной волны, помогает правильно расположить оборудование на рабочем поле и осуществить необходимую его защиту. При проведении обращенных ударных испытаний, когда объект испытаний устанавливается близко к дульному срезу баллистического ствола, знание параметров дульного выхлопа позволяет предпринять необходимые технические меры с целью минимизации преднагружения объекта испытаний дульным выхлопом.

Фотоэлектронная регистрация позволяет осуществить бесконтактную диагностику процессов свечения, сопровождающих аэробаллистический эксперимент. К этим процессам относится излучение, сопровождающее выстрел из баллистической установки: дульный выхлоп, сопровождающий вылет метаемого объекта из канала ствола баллистической установки (БУ), состоящий из высокотемпературной воздушной пробки, образующейся перед метаемым объектом (МО) при его разгоне в стволе, и рабочих газов (гелий, водород). Каждый из этих процессов имеет свои стадии, выражающиеся в изменении амплитудной зависимости, фиксируемой фотоприемником.

Структурно фотометр состоит из следующих основных частей: фотодиод, включенный в фотодиодном режиме, электронный блок, источник питания (аккумулятор), выходное устройство.

При освещении р-п перехода фоточувствительного полупроводникового диода происходит возникновение в нем электронно-дырочных пар. В условиях обратно-смещенного диода, это обстоятельство приводит к возникновению фототока, являющегося функцией освещенности. На передаточной характеристике прибора имеется линейная область, характеризующаяся линейным участком от десятка милливольт до единиц вольт при напряжениях смещения порядка десяти вольт [1].

Режим метания из ЛГП МТ-18М объекта массой 2.4 кг со скоростью 10М (3.4 км/с) был рассчитан с использованием программного комплекса LGR [2], разработанного НИИ ПММ ТГУ. При этом была использована ЛГП МТ-18М-240/100-2/(2+1скр) с баллистическим стволом калибра 100 мм. Масса порохового заряда составила 16.4 кг (порох 9/7), начальное давление рабочего газа (водорода)  $25 \cdot 10^5$  Па, масса поршня 40 кг. На рисунке 1 представлены зависимости скорости МО в стволе ЛГП от времени и координаты. За нулевой момент времени принят момент начала горения порохового заряда, за нулевую координату – положение переднего торца затвора ЛГП.

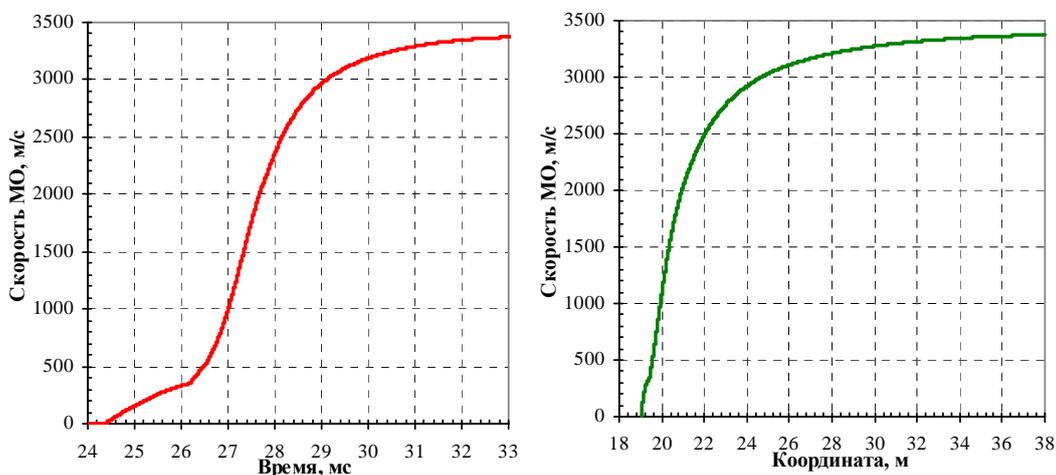


Рисунок 1 – Зависимость скорости МО от времени и координаты при разгоне в стволе ЛГП

Дульный выхлоп, как это показано в [3], состоит из воздушной пробки, формирующейся при движении МО по вакуумированному\*) баллистическому стволу, и рабочего газа, расширяющегося после выхода МО за дульный срез и перемешивающегося с воздухом. Скачок уплотнения, формирующийся при выходе воздушной пробки и рабочего газа (водорода) за дульный срез в невозмущенную атмосферу воздуха, является источником дульной ударной волны, наличие которой фиксируется средствами фото и видеорегистрации, бесконтактными электромагнитными и радиолокационными датчиками. Для оценки влияния дульной ударной волны на оборудование или сооружения, находящиеся на значительном удалении от баллистической установки, применяется модель дульного выхлопа, состоящего лишь из рабочего газа, истекающего после выхода МО за дульный срез.

На рисунке 2 представлены зависимости от времени параметров водорода в сечении дульного среза при его истечении в атмосферу после выхода МО из ствола для представленного выше режима выстрела из ЛГП МТ-18М, рассчитанные с использованием программного комплекса LGR. За нулевой момент времени принят момент прохождения задним торцем МО дульного среза.

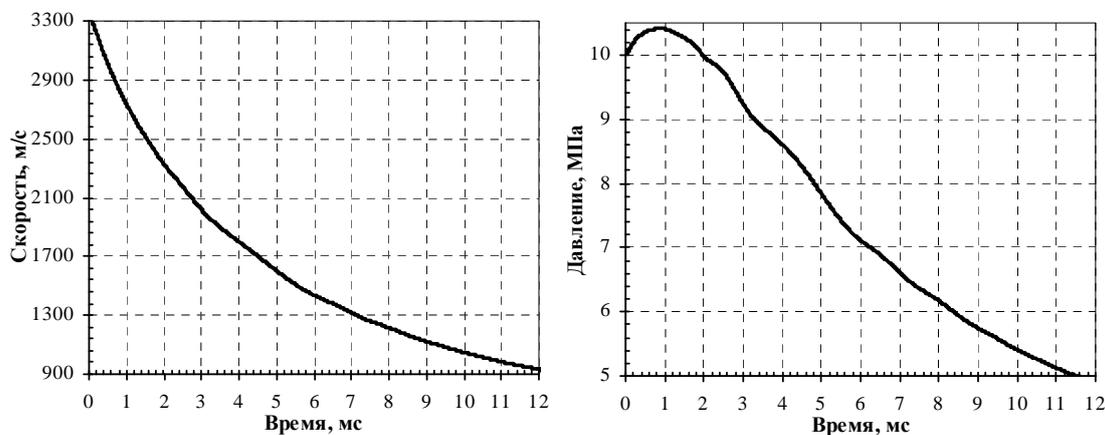


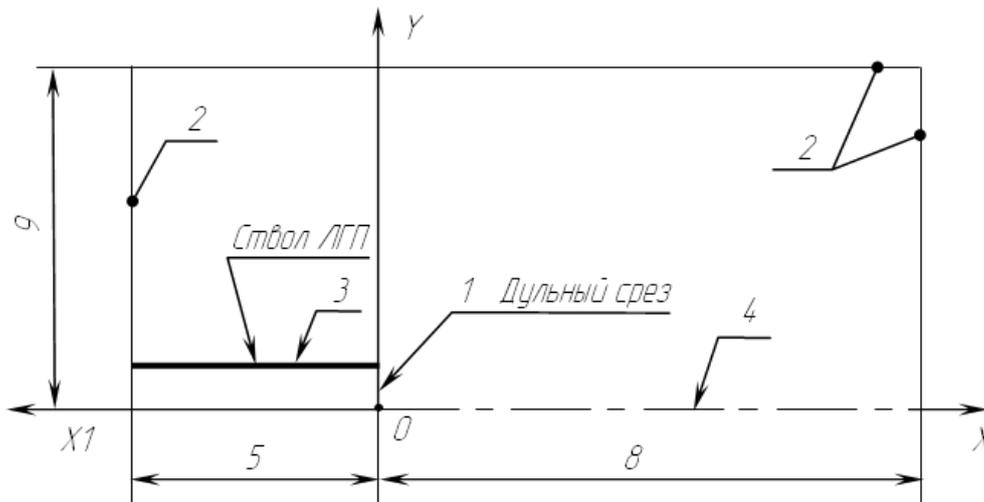
Рисунок 2 – Зависимости параметров водорода на дульном срезе ЛГП от времени

\*) Остаточное давление в вакуумированном баллистическом стволе составляет  $\sim 1 \cdot 10^3$  Па

Конус головного скачка, формирующегося при движении МО со сверхзвуковой скоростью, влияет на параметры участка (сегмента) дульной ударной волны, находящегося внутри конуса, однако, лишь на расстоянии нескольких десятков калибров. В связи с этим при оценке воздействия дульной ударной волны на сооружения, находящиеся на значительном удалении от баллистической установки, допускается рассматривать холостой выстрел. Отсутствие МО в расчетной схеме позволяет уменьшить дискретизацию расчетной области (укрупнить расчетную сетку), что позволяет при сохранении предельного количества расчетных ячеек значительно расширить границы расчетной области. Влияние земли на распространение дульной ударной волны не учитывалось.

Расчет параметров дульного выхлопа и связанной с ним ударной волны проведен с использованием программно-вычислительного комплекса Gas2 [4], разработанного в ТулГУ, и входящей в его состав программы подготовки и дискретизации расчетной области Viz2, предназначенных для проведения численных исследований газодинамических процессов в 2-х мерной осесимметричной постановке.

Пространственные физические границы и размеры расчетной области представлены на рисунке 3. Для внешних границ расчетной области использован тип открытой границы «свободного истечения газа» (вытекание и втекание газа с параметрами в области перед границей), для рабочих газов, вытекающих из ствола ЛГП, использован тип открытой границы «сверхзвукового втекания» (перетекание газа с заданными параметрами  $V(t)$ ,  $p(t)$ ,  $T(t)$ ), для ствола использована граница «непроницаемая стенка».



**Рисунок 3 – Пространственные физические границы расчетной области**  
 Типы границ: 1 – граница сверхзвукового втекания; 2 – граница «свободного» истечения газа;  
 3 – непроницаемая стенка; 4 – ось симметрии.

Для границы «непроницаемая стенка» задаются условия прилипания (равенство нулю нормальной и касательной составляющих вектора скорости  $\vec{W} = 0$ ) и определяется величина теплового потока в стенку  $q_{Ti} = q_w$ . Через открытые границы происходит конвективный перенос массы газа и соответствующие этой массе переносы импульса и энергии. Для сверхзвукового течения  $\vec{W} = \vec{W}_G$ ,  $T = T_G$ ,  $P = P_G$ . На оси симметрии граничные условия имеют вид:  $W_n = 0$ ,  $\frac{\partial X}{\partial n} = 0$  (где  $n$ - внутренняя нормаль к оси,  $X=(W,P,T)$ ). Расчетная область содержала 311 тыс. ячеек с размерами дискретной ячейки 25×10 мм.

Зависимости максимального давления в дульной ударной волне и скорости ее распространения в направлении осей OX, OY, OX1 от пройденного расстояния представлены на рисунках 4, 5. Вследствие удара переднего фронта потока рабочего газа о неподвижную атмосферу образуется скачок уплотнения, являющийся источником дульной ударной волны.

Начальное давление в дульной ударной волне у дульного среза в направлении осей OX, OY, OX1 составляет, соответственно, 120, 4 и 2 ат, начальные скорости ее распространения ~5000, 1000 и 450 м/с.

Дульный выхлоп, перемешиваясь с воздухом, резко теряет скорость и отстает от сформированной им воздушной ударной волны. Давление в волне быстро падает, скорость ее распространения во всех направлениях уменьшается, ударная волна становится слабой (звуковой), скорость ее распространения приближается к скорости звука.

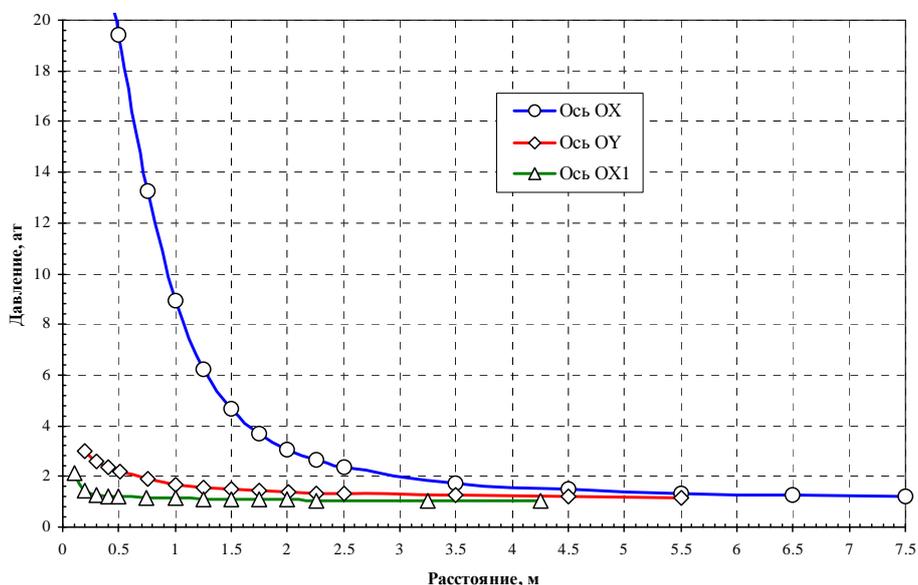


Рисунок 4 – Зависимости максимального давления в дульной ударной волне в направлениях осей OX, OY, OX1 от расстояния

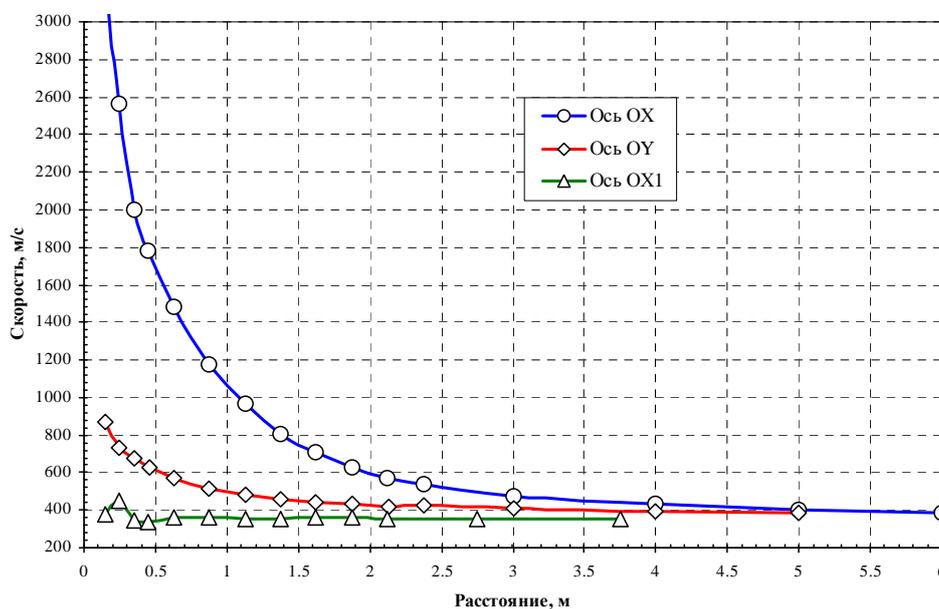


Рисунок 5 – Зависимости скорости распространения дульной ударной волны в направлениях осей OX, OY, OX1 от расстояния

Вследствие большого градиента изменения скорости волны в направлении оси OX и небольшого в направлении осей OY и OX1 дульная волна представляет собой эллипс, центр которого смещается в направлении выстрела. На рисунке 6 в виде зависимостей пройденного волной расстояния в направлении осей OX, OY, OX1 от времени показано перемещение границ этого эллипса.

Волна, в каком бы направлении она не перемещалась, имеет фазы сжатия и разрежения. Зависимости давления от времени в ряде маркеров расчетной области, расположенных на осях OX, OY, OX1, представлены на рисунке 7. Максимальный перепад давления имеет место в направлении выстрела (по оси OX).

На рисунке 8 приведены результаты фотоэлектронной регистрации освещенности, сопровождающей выстрел ЛГП МТ-18М. Фотоэлектронная регистрация осуществлялась широкодиапазонным электронно-оптическим фотометром ШЭОФ-3К, установленным таким образом, что в поле зрения чувствительного элемента попадал срез ствола БУ и область вокруг него. Сигнал с фотоприемника поступал на цифровой запоминающий осциллограф. В обратном эксперименте производилось метание объекта массой 2.4 кг со скоростью 3.6 км/с. При этом была использована ЛГП МТ-18М-240/100-2/(2+1скр) с баллистическим стволом калибра 100 мм. Масса порохового заряда составила 16.4 кг (порох 9/7), рабочий газ – водород.

По точкам перегиба на регистрируемой кривой освещенности идентифицируются различные стадии процесса дульного выхлопа. Наблюдается корреляция экспериментально полученных данных с расчетными.

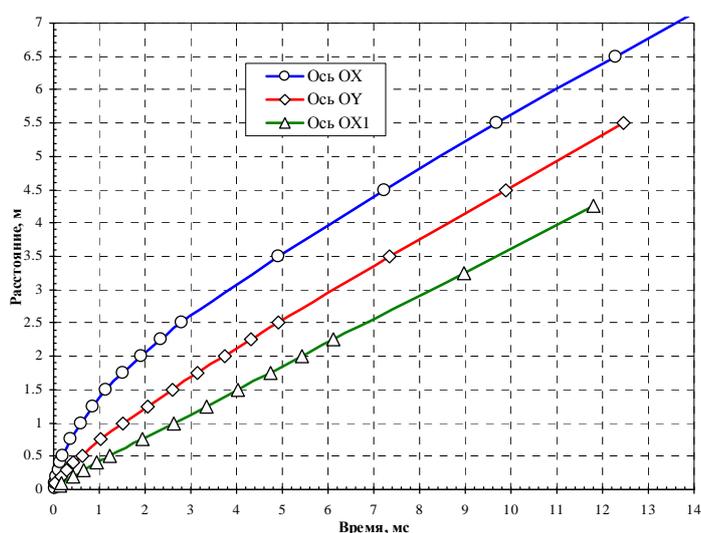


Рисунок 6 – Зависимости пройденного волной расстояния от времени в направлениях осей OX, OY, OX1

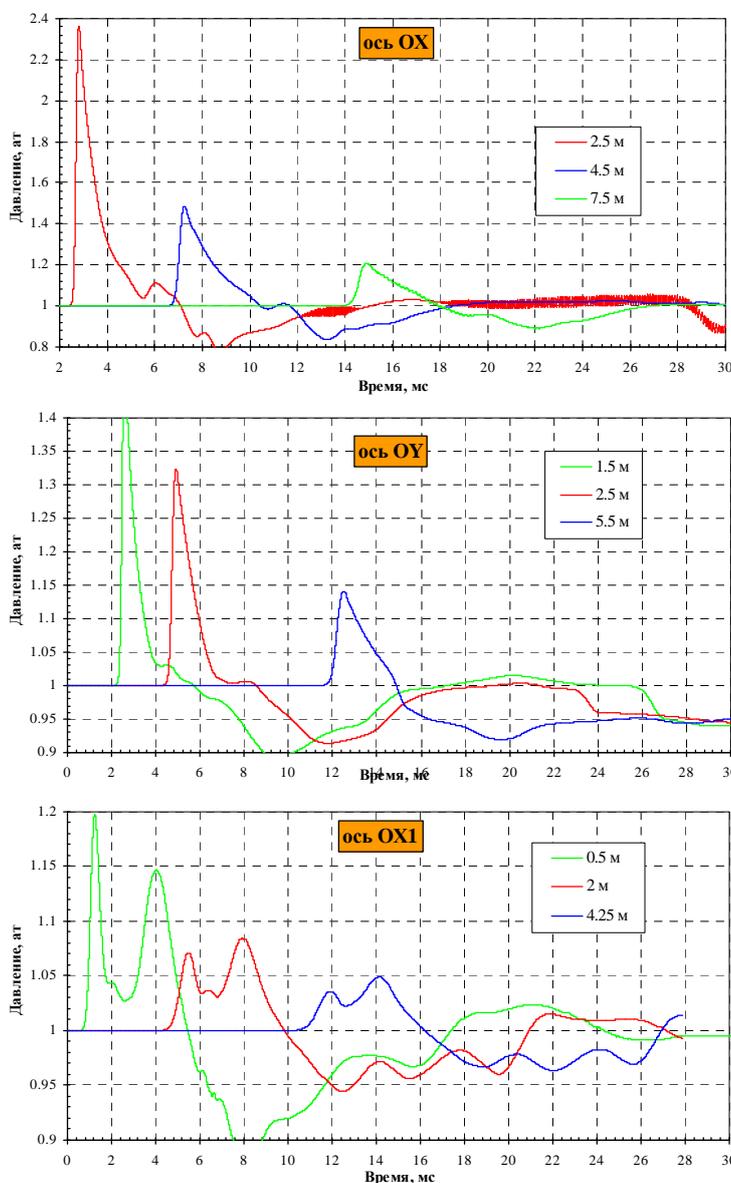
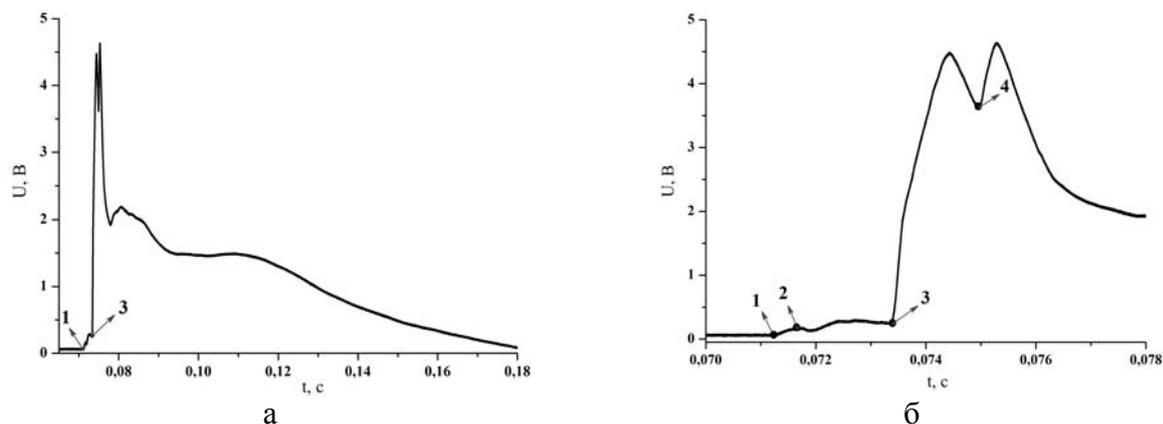


Рисунок 7 – Зависимости давления от времени в маркерах, расположенных в направлениях осей OX, OY, OX1



**Рисунок 8 – Освещенность, создаваемая БУ МТ-18М при выстреле**  
 (1 – выход воздушной пробки, 2 – расчетное время выхода МО из канала ствола,  
 3 – соударение МО с ОИ, 4 – приход дульной ударной волны к отсекателю)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, С.И. Кумулятивные источники света: монография / С.И. Герасимов, Ю.И. Файков, С.А. Холин. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011. – 326с.
2. Хоменко, Ю.П. Численное моделирование внутри-баллистических процессов в легкогазовой пушке / Ю.П. Хоменко, В.З. Касимов, О.В. Ушакова. – ПМТФ, 2003. – Т.44. – №5. С.13–22.
3. Дунаев, В.А. Расчетное исследование параметров промежуточной баллистики при выстреле из легкогазовой пушки / В.А. Дунаев, В.Н. Савкина, А.В. Сальников. – Сб. докладов VI научной конференции ВРЦ РАН «Современные методы проектирования и отработки РАВ». – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2009.
4. Дунаев, В.А. Численное моделирование взаимодействия газовой струи с элементами конструкций / В.А. Дунаев. – Прикладные задачи газодинамики и механики деформируемых и недеформируемых твердых тел. Сб. научн. трудов ТулГУ, 1996. – С.109-108.

#### **Герасимов Сергей Иванович**

Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров  
 Доктор физико-математических наук, начальник отдела  
 607188, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира, 37  
 Тел.: (831-30) 2-49-70  
 E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Ерофеев Владимир Иванович**

Институт проблем машиностроения РАН, г. Нижний Новгород  
 Доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по научной работе  
 603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 85.  
 Тел.: (831) 432-05-76.  
 E-mail: erf04@sinn.ru

#### **Клунина Елена Александровна**

Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров  
 научный сотрудник  
 607188, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира, 37.  
 Тел.: (831-30) 2-49-70.  
 E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Номаконова Виктория Николаевна**

Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров  
 инженер 3 категории  
 607188, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира, 37.  
 Тел.: (831-30) 4-55-36.  
 E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Сальников Александр Викторович**

Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров  
 научный сотрудник  
 607188, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира, 37  
 Тел.: (831-30) 2-95-50  
 E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Сперанский Алексей Викторович**

Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров  
 инженер 2 категории  
 607188, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира, 37  
 Тел.: 8-902-786-7868.  
 E-mail: Sarov\_alexey@mail.ru

S.I. GERASIMOV, V.I. EROFEEV, E.A. KLUNINA, V.N. NOMAKONOVA,  
A.V. SALNIKOV, A.V. SPERANSKY

## CALCULATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH PARAMETERS MUZZLE EXHAUST AT A SHOT OF LIGHT GAS GUN MT-18M

*The results of computational and experimental study of the parameters and exhaust muzzle muzzle shock when fired from the light-gas gun (LGB) MT-18M 100 mm caliber. An approach to the formation of the computational domain solutions for the problems of a muzzle muzzle exhaust and shock waves and their interaction with the equipment used for external trajectory given in experience. A qualitative assessment of parameters of the muzzle of a shock wave as it propagates in the direction of the shot, and perpendicular to the opposite direction. The data photoelectron registration phases of development and distribution of exhaust muzzle shock wave.*

**Keywords:** shock wave, light-gas gun, shot, calculation, experiment.

### BIBLIOGRAPHY

1. Gerasimov, S.I. Kumuljativnye istochniki sveta: monografija / S.I. Gerasimov, Ju.I. Fajkov, S.A. Holin. – Sarov: FGUP «RFJaC-VNIIJeF», 2011. – 326s.
2. Homenko, Ju.P. Chislennoe modelirovanie vnutri-ballisticheskikh processov v legkogazovoj pushke / Ju.P. Homenko, V.Z. Kasimov, O.V. Ushakova. PMTF, 2003. T.44. №5. S.1322.
3. Dunaev, V.A. Raschetnoe issledovanie parametrov promezhutochnoj ballistiki pri vystrele iz legkogazovoj pushki / V.A. Dunaev, V.N. Savkina, A.V. Sal'nikov. Sb. dokladov VI nauchnoj konferencii VRC RARAN «Sovremennye metody proektirovanija i otrabotki RAV». – Sarov: FGUP «RFJaC-VNIIJeF», 2009.
4. Dunaev, V.A. Chislennoe modelirovanie vzaimodejstvija gazovoj strui s jelementami konstrukcij / V.A. Dunaev. Prikladnye zadachi gazodinamiki i mehaniki deformiruemyh i nedeformiruemyh tverdyh tel. Sb. nauchn. trudov TulGU, 1996. S.109-108.

#### **Gerasimov Sergey Ivanovich**

Russian Federal nuclear center - VNII of experimental physics, Sarov  
Doctor of physical and mathematical Sciences, head of Department  
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, etc. of the World, 37  
Phone: (831-30) 2-49-70  
E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Erofeev Vladimir Ivanovich**

Institute of problems of mechanical engineering RAS, Nizhny Novgorod  
Doctor of physical and mathematical Sciences, Professor, Deputy Director on scientific work  
603024, Nizhnii Novgorod, Belinskogo ul, 85.  
Phone: (831) 432-05-76.  
E-mail: erf04@sinn.ru

#### **Klunina Elena Aleksandrovna**

Russian Federal nuclear center - VNII of experimental physics, Sarov  
researcher  
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, etc. of the World, 37.  
Phone: (831-30) 2-49-70.  
E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Nomakonova Viktoriya Nikolaevna**

Russian Federal nuclear center - VNII of experimental physics, Sarov  
engineer of 3 categories  
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, etc. of the World, 37.  
Phone: (831-30) 4-55-36.  
E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Salnikov Alexander Viktorovich**

Russian Federal nuclear center - VNII of experimental physics, Sarov  
researcher  
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, etc. of the World, 37  
Phone: (831-30) 2-95-50  
E-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

#### **Speransky Alexey Viktorovich**

Russian Federal nuclear center - VNII of experimental physics, Sarov  
the engineer of the 2 category  
607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, etc. of the World, 37  
Phone: 8-902-786-7868.  
E-mail: Sarov\_alexey@mail.ru

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

УДК 639.2.081.117

А.А. НЕДОСТУП, А.О. РАЖЕВ, В.А. НАУМОВ, Е.К. ОРЛОВ, А.В. ДЕГУТИС

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРКИ ОРУДИЯ РЫБОЛОВСТВА С ПОМОЩЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА**

*Успешная выборка орудия рыболовства в значительной степени зависит от значений и стабильности скорости выборки, тягового усилия и отсутствия проскальзывания на тяговом барабане механизма фрикционного типа. В данной статье предлагается математическая модель взаимодействия барабана фрикционного типа с канатно-веревочным изделием, определяющая поведение системы в динамике с учетом возможного проскальзывания каната по барабану. В статье описаны дифференциальные уравнения движения барабана и канатно-веревочного изделия, методика расчета силовых и геометрических характеристик, необходимых для решения дифференциальных уравнений движения, предложен упрощенный метод расчета достаточного коэффициента трения, по которому можно подобрать материал рабочей поверхности барабана.*

**Ключевые слова:** математическая модель, механизм фрикционного типа, канатно-веревочное изделие, уравнения движения, коэффициент трения

Комплексная механизация процессов промышленного рыболовства включает в себя применение широкого спектра промысловых механизмов фрикционного типа (МФТ). Орудие рыболовства удерживается на поверхности тягового барабана фрикционного механизма при помощи силы трения и перемещается вместе с вращающимся барабаном без проскальзывания (буксования). В условиях промысла не всегда удается избежать эффекта проскальзывания, поэтому актуально изучение фрикционного взаимодействия канатно-веревочных изделий (КВИ), из которых изготавливаются орудия рыболовства, и тягового барабана.

В данной статье описана математическая модель взаимодействия барабана фрикционного типа с КВИ, определяющая поведение системы в динамике с учетом возможного проскальзывания КВИ по барабану. По полученной математической модели можно построить компьютерную модель, на основе которой создать компьютерную программу, моделирующую процесс выборки КВИ при помощи МФТ.

На рисунке 1 показана схема системы, для которой создается математическая модель взаимодействия МФТ и КВИ (орудия с уловом). Рассматриваемая система состоит из тягового барабана и КВИ с уловом. Рассматривается случай, когда орудие рыболовства с уловом полностью находится в воде в течение всего процесса моделирования. При этом вода не имеет течения, гидродинамическая сила вызвана только поступательным движением орудия с уловом при выборке, а вектор скорости движения параллелен вектору силы тяжести и направлен вверх.

Динамика вращения барабана с КВИ и уловом, движения КВИ с уловом без проскальзывания и движения КВИ и улова с проскальзыванием математически задается дифференциальными уравнениями (1), (2) и (3) соответственно.

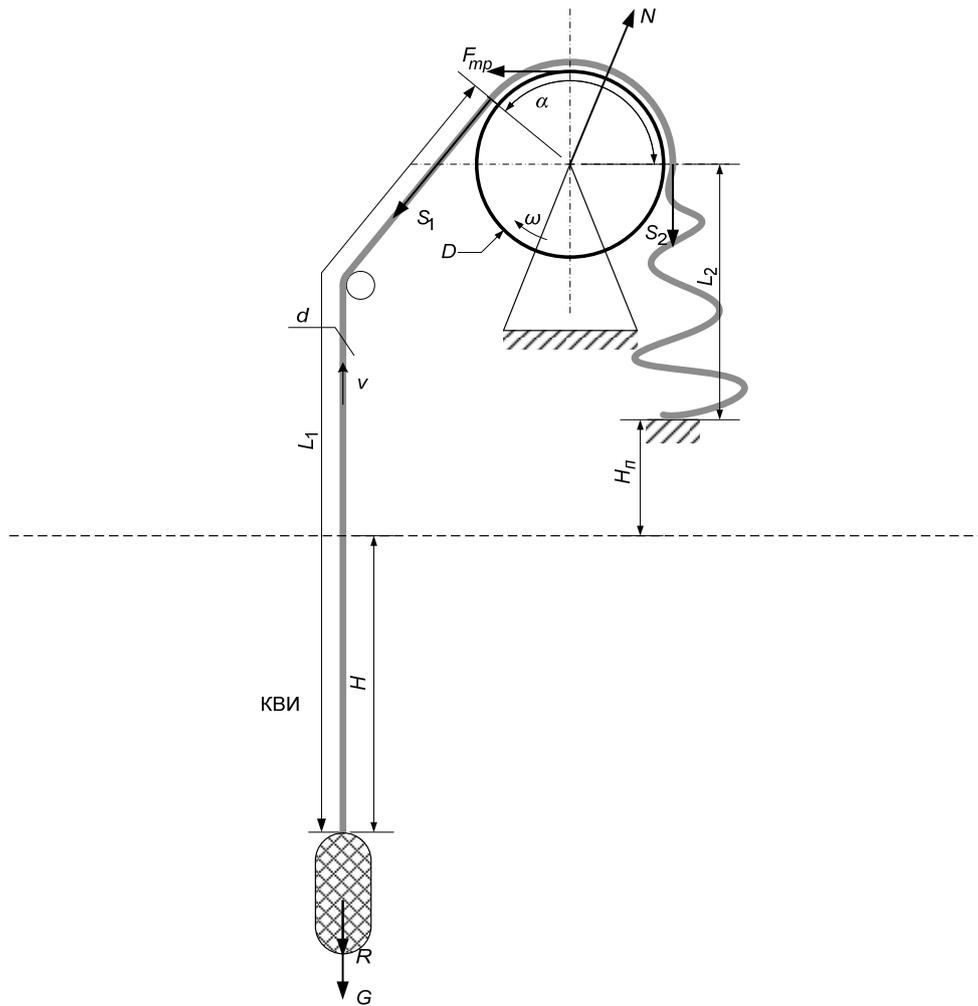


Рисунок 1 – Барабан фрикционного типа и КВИ

$L_1$  - длина набегающей ветви КВИ,  $L_2$  - длина сбегающей ветви КВИ,  $H_n$  - высота палубы над уровнем воды,  $D$  - диаметр барабана,  $\omega$  - угловая скорость вала,  $v$  - линейная скорость движения КВИ,  $\alpha$  - угол дуги охвата барабана КВИ,  $S_1$  - натяжение в набегающей ветви КВИ в точке касания барабана,  $S_2$  - натяжение в сбегающей ветви КВИ в точке отрыва от барабана,  $F_{mp}$  - сила трения КВИ о барабан, приложенная к барабану,  $N$  - нормальная нагрузка на поверхность барабана,  $G$  - вес КВИ с уловом в воде,  $R$  - гидродинамическая сила сопротивления движению КВИ с уловом,  $H$  - длина подводной части набегающей ветви КВИ.

$$J_1 \frac{d\omega}{dt} = M - \operatorname{sgn}\left(\omega \frac{D}{2} - v\right) F_{mp} \frac{D}{2}, \quad \frac{d\psi}{dt} = \omega, \quad \psi(0) = 0, \quad \omega(0) = 0, \quad (1)$$

$$v = \frac{\omega D}{2}, \quad \frac{dL_1}{dt} = -v, \quad L_1(0) = L_0, \quad (2)$$

$$m \frac{dv}{dt} = \operatorname{sgn}\left(\omega \frac{D}{2} - v\right) F_{mp} - S_1 + S_2, \quad \frac{dL_1}{dt} = -v, \quad L_1(0) = L_0, \quad v(0) = 0, \quad (3)$$

где  $M$  - вращающий момент, приложенный к валу барабана;

$\psi$  - угол поворота вала;

$t$  - время процесса моделирования;

$J_1$  - момент (приведенный) инерции вала с барабаном и КВИ;

$L_0$  - длина набегающей ветви КВИ в начале процесса моделирования;

$m$  - масса КВИ с уловом (с учетом присоединенной массы).

Вращающий момент  $M$  зависит от конструкции барабана, применяемого двигателя и системы управления и может быть функцией от угловой скорости вала. Сила трения КВИ о барабан  $F_{mp}$  приложена к поверхности барабана по касательной (см. рис. 1) и вычисляется по формуле (4)

$$F_{mp} = S_1 - S_2. \quad (4)$$

При вращении барабана без проскальзывания КВИ приведенный момент инерции вала с барабаном, КВИ с уловом вычисляется по формуле (5):

$$J_1 = J + m \frac{D^2}{4}, \quad (5)$$

где  $J$  - момент инерции вала с барабаном (приведенный).

При вращении с проскальзыванием барабан теряет жесткую связь с КВИ, поэтому приведенный момент инерции  $J_1=J$  не зависит от масс КВИ с уловом.

При отсутствии проскальзывания выполняется условие (6):

$$\omega \frac{D}{2} = v. \quad (6)$$

Масса  $m$  КВИ с уловом является суммой масс (7):

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_{КВИ} + m_n, \quad (7)$$

где  $m_1$  - масса набегающей ветви КВИ;

$m_2$  - масса сбегающей ветви КВИ;

$m_3$  - масса КВИ на барабане;

$m_{КВИ}$  - масса КВИ с уловом;

$m_n$  - присоединенная масса КВИ с уловом.

Массы  $m_1, m_2, m_3, m_{КВИ}$  и  $m_n$  определяются зависимостями (8) - (12):

$$m_1 = \frac{\pi}{4} d^2 L_1 \rho_k \quad (8)$$

$$m_2 = \frac{\pi}{4} d^2 L_2 \rho_k, \quad (9)$$

$$m_3 = \frac{\pi}{8} D d^2 \alpha \rho_k, \quad (10)$$

$$m_o = \frac{G_a}{g}, \quad (11)$$

$$m_n = \frac{G_a}{g \rho_{КВИ}} \rho, \quad (12)$$

где  $d$  - диаметр КВИ;

$\rho_k$  - плотность намокшего КВИ;

$\rho$  - плотность воды;

$\rho_{КВИ}$  - средняя плотность КВИ с уловом;

$G$  - вес в воде КВИ с уловом;

$G_a$  - вес в воздухе КВИ с уловом;

$g$  - ускорение свободного падения.

В формуле (12) предполагается, что присоединенная масса КВИ с уловом равна массе воды в объеме КВИ и улова.

Вес в воздухе КВИ с уловом (13):

$$G_a = \frac{G}{\rho_{КВИ} - \rho} \rho_{КВИ}. \quad (13)$$

Натяжение в набегающей части КВИ в точке касания барабана, вызванное весом каната, КВИ с уловом и гидродинамической силой сопротивления движения КВИ с уловом, рассчитывается по формулам (14) - (16):

$$S_1 = \left( m_1 - \frac{\pi}{4} d^2 H \rho \right) g + G + (m_1 + m_{КВИ} + m_n) \frac{dv}{dt} + R, \quad (14)$$

$$H = L_1 - L_2 - H_n, \quad (15)$$

$$R = cv^2, \quad (16)$$

где  $c$  - обобщенный гидродинамический коэффициент сопротивления КВИ с уловом.

Натяжение в сбегавшей ветви КВИ в точке отрыва от барабана (17) постоянно в течение всего процесса моделирования:

$$S_2 = m_c g \frac{L_2}{L_0 + L_2}. \quad (17)$$

Сила трения (статическая и динамическая) каната о барабан при проскальзывании в общем случае имеют сложную зависимость от скорости проскальзывания КВИ и нормальной нагрузки на поверхность барабана с учетом фактора окружающей среды [1].

Зависимости для коэффициента трения КВИ о барабан, при значении которого не будет проскальзывания (18) и нормальной нагрузки на поверхность барабана (19) получены экспериментально [2,3].

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{S_1 / S_2 - 1}{\alpha}}, \quad (18)$$

$$N = 2,778 S_2 \mu \alpha, \quad (19)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения.

*Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чичинадзе А.В. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-ое изд. переработ. и доп. Под общей редакцией А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, - 2001. - 664 с.
2. Недоступ, А.А. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа / А.А. Недоступ, Е.К. Орлов «Трение и износ». Международный научный журнал, 2010, - т. 31, - №4, - С.403-411.
3. Орлов, Е.К. Результаты экспериментального исследования нормальной нагрузки при фрикционном взаимодействии орудия рыболовства с тяговым барабаном промышленного механизма / Е.К. Орлов, А.А. Недоступ // Рыбное хозяйство. №5. - 2012. - С. 97-101.

**Недоступ Александр Алексеевич**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград  
Проректор по информатизации и развитию, к.т.н. доцент, зав. кафедрой промышленного рыболовства  
E-mail: nedostup@klgtu.ru

**Ражев Алексей Олегович**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград  
Младший научный сотрудник научно-исследовательского центра рыболовства и рыбохозяйственного образования  
E-mail: progacpp@live.ru

**Наумов Владимир Аркадьевич**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград  
Зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования, д.т.н., профессор  
E-mail: van-old@rambler.ru

**Орлов Евгений Константинович**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград  
Доцент кафедры промышленного рыболовства  
E-mail: orlovhome@mail.ru

**Дегутис Андриус Витаутович**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

Аспирант кафедры промышленного рыболовства

E-mail: andrey\_degutis@mail.ru

---

A.A. NEDOSTUP, A.O. RAZHEV, V.A. NAUMOV, E.K. ORLOV, A.V. DEGUTIS

## **MATHEMATICAL MODELING OF FISHING GEAR SAMPLE WITH DRUM TYPE FRICTION**

*Successful fishing gear selection is largely dependent on the value and stability of the sampling rate, and lack of traction slip on the traction drum mechanism of the friction type. In this article, we propose a mathematical model of the interaction of the friction drum-type rope making, determines the behavior of the system dynamics, taking into account a possible slip of the rope on the drum. The article describes the differential equations of motion of the drum and rope making, methods of calculating power and geometric characteristics necessary for the solution of differential equations of motion proposed by the simplified method of calculating an adequate coefficient of friction by which to pick up surface material drum.*

**Keywords:** *mathematical model, the mechanism of friction type, rope making, the equations of motion, the coefficient of friction*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Chichinadze A.V. i dr. Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka): Uchebnik dlja tehniceskikh vuzov. 2-oe izd. pererabot. i dop. Pod obshhej redakcii A.V. Chichinadze. - M.: Mashinostroenie, - 2001. - 664 s.

2. Nedostup, A.A. Issledovanie staticheskogo koefficienta trenija rybolovnyh kanatno-verevochnyh izdelij na barabane mehanizma frikcionnogo tipa / A.A. Nedostup, E.K. Orlov «Trenie i iznos». Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal, 2010, - t. 31, - №4, - S.403-411.

3. Orlov, E.K. Rezul'taty jeksperimental'nogo issledovanija normal'noj nagruzki pri frikcionnom vzaimodejstvii orudija rybolovstva s tjagovym barabanom promyslovogo mehanizma / E.K. Orlov, A.A. Nedostup // Rybnoe hozjajstvo. №5. - 2012. - S. 97-101.

**Nedostup Alexander Alexseevich**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Prorector for Information and Development, scientist

E-mail: nedostup@klgtu.ru

**Razhev Aleksey Olegovich**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Junior researcher at the Research Center of Fisheries and fisheries education, scientist

E-mail: progacpp@live.ru

**Naumov Vladimir Arkadieevich**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Head of the department of water resources and water use, professor

E-mail: van-old@rambler.ru

**Orlov Evgeniy Konstantinovich**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Assistant professor of commercial fishing, scientist

E-mail: orlovhome@mail.ru

**Degutis Andrius Vitaytovich**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Graduate student of commercial fishing

E-mail: andrey\_degutis@mail.ru

## РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДЕОВСТАВОК В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ПОТОКЕ ИНФОРМАЦИИ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ДИСТАНЦИОННЫМ ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*В статье рассматривается метод идентификации видеовставок в мультимедийном потоке информации, основанный на различных принципах сравнения кадров видеопотока с целью исключения несанкционированного доступа к станкам с дистанционным программным числовым управлением при обработке деталей специального назначения.*

**Ключевые слова:** станки с дистанционным числовым программным управлением, видеопоток, бинаризация, сегментация, градиент.

Первые коммерческие эксперименты по разработке методик воздействия на подсознание человека (сублиминального, т. е. подпорогового влияния) начали проводиться в конце 1950-х годов. Под ними подразумевались возможности современных электронных средств донести до интересующего лица помимо осознаваемой информации скрытые изображения. Объект такого внушения имел определенную склонность подчиняться и изменять свое поведение не на основании логических доводов или мотивов, а по одному лишь требованию или предложению, не отдавая себе отчета, продолжая считать свой образ действия как бы следствием собственной инициативы или самостоятельного выбора.

Зачастую такие воздействия носят негативный характер и используются скрытно на фоне колоритного, эмоционального, захватывающего дух материала.

Для предотвращения такого рода влияния на общественное мнение, убеждение, восприятие и сознание человека актуальными становятся задачи по идентификации "зомбирующих" видео- и аудиовставок.

Рассматриваемая методика, основанная на преобразовании цветного изображения в полутоновое, вычислении градиента, бинаризации и сегментации, позволяет определить наличие видеовставок в мультимедийном потоке как кадров-вставок, диспарантных вставок, так и кадров отдельных сюжетных линий (сцен), оказывающих сублиминальное воздействие на оператора станка с дистанционным числовым программным управлением.

### Последовательность процедур, необходимых для обнаружения вставки в мультимедийном потоке информации

#### 1. Преобразование цветного изображения в полутоновое

Благодаря данной операции из цветовой модели RGB, глубина которой составляет 24 бита, мы выделяем «оттенок серого», то есть, обесцвечиваем изображение и получаем число битов, используемых для представления каждого пикселя в RGB пространстве равное 8.

*Это позволяет:*

- уменьшить изображение в 3 раза;
- увеличить скорость его обработки;
- более наглядно определить на гистограммах перепады уровней;
- увеличивает вероятность обнаружения негативной вставки.

Цветное изображение часто преобразуется в полутоновое с помощью следующих выражений:

$$Gray_{ij} = 0.3R_{ij} + 0.59G_{ij} + 0.11B_{ij};$$

$$Gray_{ij} = \frac{(R_{ij} + G_{ij} + B_{ij})}{3},$$

где  $Gray_{ij}$  – яркость пикселя с координатами  $(i,j)$  в полутоновом представлении исходного цветного изображения;  $R_{ij}$ ,  $G_{ij}$ ,  $B_{ij}$  – значения яркости красного, зеленого и синего цветов.

## 2. Градиент

Данный этап характеризуется нахождением производной от обесцвеченного изображения, что позволяет определить наличие паразитной вставки. Если мы видим прерывистое изображение оттенков серого на отрезке, значит, возможно, на данном этапе имеет место быть вставка, не принадлежащая данному кадру.

Градиент – векторная величина, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины. В нашем случае «некоторая величина» – это двумерная функция яркости изображения, допустим, что мы рассматриваем «псевдонепрерывное» изображение, тогда вектор градиента определяется формулой:

$$\vec{g} = grad I = \left( \frac{dI}{dx}, \frac{dI}{dy} \right),$$

где  $I$  – это наше изображение.

На практике, картинка дискретна и в классическом смысле производной не существует, поэтому используют ее разностные аналоги, например в простейшем случае левая разностная производная

$$F_x(i, j) = \left( \frac{dI(x, y)}{dx} \right) \Big|_{\substack{x=x_i \\ y=y_j}} = I_{i,j} - I_{i-1,j}$$

Разностных аналогов существует великое множество, и все они обладают различными порядками аппроксимации. Увеличение порядка аппроксимации в теории должно приводить к увеличению точности расчета производной. Более того, увеличив количество элементов в аппроксимации можно повысить устойчивость к шуму.

К примеру, будем использовать разностный аналог первой производной, шестого порядка точности аппроксимации по шагу дискретизации:

$$G_x(i, j) = \left( \frac{dI(x, y)}{dx} \right) \Big|_{\substack{x=x_i \\ y=y_j}} = \frac{-I_{i-3,j} + 9I_{i-2,j} - 45I_{i-1,j} + 45I_{i+1,j} - 9I_{i+2,j} + I_{i+3,j}}{60}.$$

А теперь предположим, что  $I(i,j)$  – независимые случайные величины, распределенные по любому закону распределения, и посмотрим дисперсии:

- Для первой аппроксимации получаем:

$$D[F_x(i, j)] = D[I_{i,j}] + D[I_{i-1,j}].$$

- Для второй аппроксимации получаем:

$$D[G_x(i, j)] = \frac{(D[I_{i-3,j}] + 81D[I_{i-2,j}] + 2025D[I_{i-1,j}] + 2025D[I_{i+1,j}] + 81D[I_{i+2,j}] + D[I_{i,j}])}{3600}$$

Как правило, дисперсию аддитивного шума можно считать изотропной и тогда вытекает соотношение:

$$\begin{aligned} D[F_x(i, j)] &= 2D, \\ D[G_x(i, j)] &= 1.17D. \end{aligned}$$

Таким образом, коэффициент усиления шума 1.17, в случае аппроксимации производной разностью более высокого порядка, меньше чем коэффициент 2 в случае аппроксимации производной левой разностью. Логично, что при этом сильно возрастают вычислительные затраты.



Рисунок 1 – Исходное изображение, 2 – модуль градиента по первой формуле, 3 – модуль градиента по второй формуле

В итоге мы рассчитали градиент, на котором шумовая компонента увеличилась не в 2 раза а всего в 1.17 раз, однако опять же, если на картинке есть шум, то было бы неплохо его дисперсию предварительно (до вычисления градиента) уменьшить – например, смазать исходное изображение  $I$ , то есть сделать свертку например с гауссовым ядром  $f$ . Тогда градиент запишется как:

$$\bar{g} = \text{grad } I = \left( \frac{d}{dx}(f ** I), \frac{dI}{dy}(f ** I) \right),$$

однако, из свойств оператора свертки известна формула:

$$\frac{d}{dx}(f ** I) = \frac{df}{dx} ** I.$$

#### – Сегментация

Цветовая сегментация обычно проводится по предварительно построенной модели распределения цвета искомого объекта. Например, цветовая сегментация лица человека производится на основе различных параметров, таких как: цвет кожи и пропорций лица. Существуют группы кластеров, соответствующих данным параметрам, а область изображения формируется из пикселей, параметры которых вошли в один из кластеров. Главное, что лицо должно быть симметрично относительно вертикальной оси.

Пороговая обработка, вероятно, самый простой метод сегментации, что привлекает к нему большое внимание специалистов. Метод ориентирован на обработку изображений, отдельные однородные участки которых различаются средней яркостью. Простейшим и вместе с тем часто применяемым видом сегментации является бинарная сегментация, когда имеется только два типа однородных участков. При этом преобразование каждой точки исходного изображения  $x(i_1, i_2)$  в выходное  $y(i_1, i_2)$  выполняется по правилу:

$$y(i_1, i_2) = \begin{cases} y_0, & x(i_1, i_2) \leq x_0 \\ y_1, & x(i_1, i_2) > x_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_0$  - единственный параметр обработки, называемый порогом. Уровни выходной яркости  $y_0$  и  $y_1$ , могут быть произвольными, они лишь выполняют функции меток, при помощи которых осуществляется разметка получаемой карты - отнесение ее точек к классам  $H_0$  или  $H_1$  соответственно. Если образуемый препарат подготавливается для визуального восприятия, то часто их значения соответствуют уровням черного и белого. Если существует более двух классов, то при пороговой обработке должно быть задано семейство порогов, отделяющих яркости различных классов друг от друга.

Центральным вопросом пороговой сегментации является определение порогов, которое должно выполняться автоматически. Применяемые в настоящее время методы автоматического определения порогов подробно описаны в обзоре [1]. Разнообразие методов очень велико, однако в основном они базируются на анализе гистограммы исходного изображения.

Пусть  $\omega(x)$ ,  $0 \leq x \leq 255$  - гистограмма исходного цифрового изображения. Примем, что его диапазон яркостей заключен в пределах от 0 (уровень черного) до 255 (уровень бело-

го). Первоначальная идея гистограммного метода определения порога основывалась на предположении о том, что распределения вероятностей для каждого класса унимодальны (содержат по одному пику), а точки границ, разделяющих участки разных классов на изображении, малочисленны. Этим предположениям должна отвечать гистограмма, которая имеет многомодальный характер. Отдельные моды соответствуют различным классам, а разделяющие их впадины - малочисленным по количеству входящих в них точек граничным областям. Пороги сегментации находятся при этом по положению впадин. В действительности воспользоваться такими простыми соображениями для выбора порога удается крайне редко. Дело в том, что реальные гистограммы обычно сильно изрезаны. Это служит первым препятствием для определения точек минимума. Вторым препятствием является то, что границы между однородными участками на изображении бывают размыты, вследствие чего уровень гистограммы в тех ее частях, которые отображают точки границы, возрастает. Очевидно, это приводит к уменьшению провалов в гистограмме или даже их исчезновению.

Один из эффективных путей преодоления этих трудностей состоит и определении порога на основе так называемого дискриминантного критерия. Рассмотрим этот подход применительно к двум классам, поскольку обобщение на случай большего числа классов не составляет принципиальной проблемы. Итак, считаем, что распределение  $\omega(x), 0 \leq x \leq 255$  построено для изображения, содержащего два типа участков, причем существует оптимальная граница  $x_0$ , разделяющая их наилучшим образом в некотором смысле. Для определения оптимального порога строим дискриминантную функцию  $\eta(x_0^*)$ ,  $0 \leq x \leq 255$ , аргумент которой  $x_0^*$  имеет смысл пробного порога. Его значение, максимизирующее функцию  $\eta(x_0^*)$ , является оптимальным порогом  $x_0$ . Рассмотрим построение дискриминантной функции.

Пусть  $x_0^*$  - гипотетическое значение порога, разбивающее распределение  $\omega(x)$ ,  $0 \leq x \leq 255$  на два класса. При этом обычно не играет большой роли, к какому из классов будут отнесены точки изображения, имеющие яркость  $x_0^*$ , в силу малочисленности граничных точек, разделяющие участки разных классов. Вероятность того, что наугад взятая точка кадра принадлежит классу  $H_0$ , равна:

$$p_0 = \sum_{x=0}^{x_0^*} \omega(x) = p(x_0^*). \quad (2)$$

Аналогично вероятность ее принадлежности к классу  $H_1$  определяется формулой:

$$p_1 = \sum_{x=x_0^*+1}^{255} \omega(x), \quad (3)$$

причем в силу нормировки распределения вероятностей имеет место равенство:

$$p_0 + p_1 = 1.$$

Далее считаем, что участок распределения  $\omega(x)$ ,  $0 \leq x \leq 255$ , ограниченный точкой  $x_0^*$ , описывает часть изображения, принадлежащую  $H_0$ , а участок  $\omega(x)$ ,  $0 \leq x \leq 255$  - принадлежащую  $H_1$ . Это позволяет ввести в рассмотрение два распределения  $\omega_0(x)$  и  $\omega_1(x)$ , соответствующих  $H_0$  и  $H_1$ , конструируя их из распределения  $\omega(x)$  при помощи выражений:

$$\omega_0(x) = \frac{\omega(x)}{p_0}, \quad 0 \leq x \leq x_0^*,$$

$$\omega_1(x) = \frac{\omega(x)}{p_1}, \quad x_0^* + 1 \leq x \leq 255.$$

Здесь делением на вероятности  $p_0$  и  $p_1$  обеспечивается нормировка вводимых условных распределений.

Для образованных таким образом распределений вероятностей могут быть найдены моменты. Выражения для математических ожиданий  $\mu_0$  и  $\mu_1$  имеют вид

$$\mu_0 = \frac{\sum_{x=0}^{x_0^*} x\omega_0(x)}{p_0} = \frac{\sum_{x=0}^{x_0^*} x\omega(x)}{p_0}. \quad (4)$$

Выражение (5)

$$\mu_1 = \sum_{x=x_0^*}^{255} x\omega_1(x) = \frac{\sum_{x=x_0^*}^{255} x\omega(x)}{p_1} = \frac{\left[ \sum_{x=0}^{255} x\omega(x) - \sum_{x=0}^{x_0^*} x\omega(x) \right]}{p_1} = \frac{\left[ \mu(255) - \mu(x_0^*) \right]}{p_1} = \frac{\mu(255) - \mu(x_0^*)}{1 - p(p_0^*)},$$

где

$$\mu(x_0^*) = \sum_{x=0}^{x_0^*} x\omega(x) - \text{ненормированное математическое ожидание для } H_0,$$

$$\mu(255) = \sum_{x=0}^{255} x\omega(x) - \text{математическое ожидание для всего кадра.}$$

Аналогично, дисперсия дня всего кадра  $\sigma_T^2$  определяется выражением:

$$\sigma_T^2 = \sum_{x=0}^{255} |x - \mu(255)|^2 \omega(x). \quad (6)$$

Для построения дискриминантной функции дополнительно вводим еще один энергетический параметр  $\sigma_B^2$ , называемый межклассовой дисперсией:

$$\sigma_B^2 - p_0(\mu_0 - \mu(255))^2 + p_1(\mu_1 - \mu(255))^2. \quad (7)$$

Безразмерная дискриминантная функция определяется выражением:

$$\eta(x_0^*) = \frac{\sigma_B^2(x_0^*)}{\sigma_T^2}. \quad (8)$$

Оптимальным, как говорилось выше, считается порог, отвечающим требованию:

$$x_0 = \arg \max_{x_0} \eta(x_0^*). \quad (9)$$

Поясним смысл критерия (9). Знаменатель  $\sigma_T^2$  в выражении (8) является дисперсией всего кадра и, следовательно, от величины пробного порога  $x_0^*$ , разбивающего изображение на классы, не зависит. Поэтому точка максимума выражения (8) совпадает с точкой максимума числителя, т.е. определяется характером зависимости межклассовой дисперсии (7) от порога  $x_0^*$ . При его стремлении к нулю вероятность  $p_0$ , как следует из (2), также стремится к нулю. Поскольку при этом все изображение относится к классу  $H_1$ , имеет место тенденция  $\mu_1 \rightarrow \mu(255)$ . Следовательно, оба слагаемых в (7) становятся равными нулю. Это же наблюдается и при другом крайнем значении порога  $x_0^*=255$ . В силу неотрицательности величин,

входящих в (7) и (9), и равенства функции  $\eta(x_0^*)$  нулю на краях области определения, внутри этой области существует максимум, абсцисса которого и принимается за оптимальный порог. Следует отметить качественный характер этих соображений. Более детальные исследования показывают, например, что при обработке некоторых изображений дискриминантная функция  $\eta(x_0^*)$  имеет несколько максимумов даже при наличии на изображении только двух классов. Это, в частности, проявляется, когда суммарные площади участков, занятых классами  $H_0$  и  $H_1$ , существенно различны. Поэтому задача в общем случае несколько усложняется необходимостью определить абсолютный максимум функции  $\eta(x_0^*)$ .

С вычислительной точки зрения для выполнения алгоритма необходимо найти для всего изображения математическое ожидание  $\mu(255)$  и дисперсию  $\sigma_T^2$ . Далее при каждом значении  $x_0^*$  определяются вероятности  $p_0$  и  $p_1$  с использованием (2) и (3) (или условия нормировки), а также математические ожидания классов  $\mu_0$  и  $\mu_1$  при помощи соотношений (4), (5). Найденные таким образом величины дают возможность определить значение  $\eta(x_0^*)$ .

Объем вычислений можно сократить, если выполнить некоторые преобразования формулы (7) для межклассовой дисперсии. Используя формулы (2) - (5), нетрудно получить соотношение для математических ожиданий:

$$p_0\mu_0 + p_1\mu_1 = \mu(255). \quad (10)$$

Раскрывая далее в (7) квадраты разностей, после преобразований с использованием соотношения (10), можно получить:

$$\sigma_B^2 = p_0 p_1 (\mu_1 - \mu_0)^2. \quad (11)$$

Выражая из (7) величину  $\mu_1$  и подставляя ее в (11), окончательно находим:

$$\sigma_B^2(x_0^*) = \frac{[\mu(255)p(x_0^*) - \mu(x_0^*)]^2}{p(x_0^*)[1 - p(x_0^*)]}. \quad (12)$$

Данное соотношение существенно уменьшает объем вычислений при автоматическом отыскании оптимального порога.

Коснемся вопроса о пороговой сегментации нестационарных изображений. Если средняя яркость изменяется внутри кадра, то пороги сегментации должны быть также изменяющимися. Часто в этих случаях прибегают к разбиению кадра на отдельные области, в пределах которых изменениями средней яркости можно пренебречь. Это позволяет применять внутри отдельных областей принципы определения порогов, пригодные для работы со стационарными изображениями.

Более трудоемкая, но и более эффективная процедура, использующая скользящее окно, при которой каждое новое положение рабочей области отличается от предыдущего только на один шаг по строке или по столбцу. Находимый на каждом шаге оптимальный порог относят к центральной точке текущей области. Таким образом, при этом методе порог изменяется в каждой точке кадра, причем эти изменения имеют характер, сопоставимый с характером нестационарности самого изображения. Процедура обработки, конечно, существенно усложняется.

Компромиссной является процедура, при которой вместо скользящего окна с единичным шагом применяют "прыгающее" окно, перемещающееся на каждом этапе обработки на несколько шагов. В "пропущенных" точках кадра порог может определяться с помощью интерполяции (часто применяют простейшую линейную интерполяцию) по его найденным значениям в ближайших точках.

#### – Бинаризация

Бинаризацией называют перевод полноцветного или в градациях серого изображения в монохромное, где присутствуют только два типа пикселей (темные и светлые). Данная процедура имеет большое значение при распознавании образов. Особенно это относится к бинарным объектам, таким, как штриховые коды, текст, чертежи и т.п.

Если говорить кратко, то пороговые методы бинаризации работают со всеми изображениями, находя какую то характеристику, позволяющее разделить все изображение на черно-белое. Адаптивные методы работают с участками изображений и используются при неоднородном освещении объектов.

При этом адаптивные методы работают медленнее пороговых, что также влияет на выбор метода.

#### **Вывод**

Реализация предлагаемых методик позволит идентифицировать видеовставки, оказывающие сублиминальное воздействие на оператора станка с дистанционным числовым программным управлением, исключая несанкционированный доступ при обработке деталей специального назначения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гонсалес, Е.С. Обработка цветных изображений / Е.С. Гонсалес. – 2004

**Орешин Андрей Николаевич**

Академия ФСО России, г. Орёл

Кандидат технических наук, доцент, зам. начальника кафедры Системы коммутации и телекоммуникационных услуг

Тел: (910) 304-0001

**Романов Николай Васильевич**

Академия ФСО России, г. Орёл

Слушатель

Тел: (910) 304-0001

**Лысанов Иван Юрьевич**

Академия ФСО России, г. Орёл

Преподаватель кафедры Технической эксплуатации средств связи

Тел: (910) 304-0001

---

A.N. ORESHIN, N.V. ROMANOV, I.Yu. LYSANOV

### **STRATEGY GENERATION OF THE VIDEO INSERT IDENTIFICATION IN THE MULTIMEDIA INFORMATION FLOW**

*Experience of development the method of the video insert identification in the multimedia information flow is suggested. This method is based on different principles of the frame comparing in the video flow.*

**Keywords:** video flow, binarization, segmentation, gradient.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Gonsalez, E.S. Obrabotka cvetnyh izobrazhenij / E.S. Gonsalez. – 2004

**Oreshin Andrey Nikolaevich**

Academy of Federal security service of Russia, Orel

Candidate of technical Sciences, associate Professor, Deputy head of the Department of switching Systems and telecommunication services

Tel: (910) 304-0001

**Romanov Nikolai Vasilievich**

Academy of Federal security service of Russia, Orel

Listener

Tel: (910) 304-0001

**Lysanov Ivan Yurievich**

Academy of Federal security service of Russia, Orel

Lecturer of the Department of Technical exploitation of means of communication

Tel: (910) 304-0001

# КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.774.6

Д.Н. МАЛЬЦЕВ

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРЯМОЙ ТРУБЫ

*Исследовано деформирование трубы штампом для придания поперечным сечениям овальной формы.*

**Ключевые слова:** жесткопластический материал; тонкая стенка трубы; средняя линия сечения стенки; кривизна средней линии.

Тонкостенная труба из жесткопластического материала со средним радиусом стенки  $r$  деформируется по всей длине штамповыми инструментами в виде плит с вогнутой рабочей поверхностью, рисунок 1.

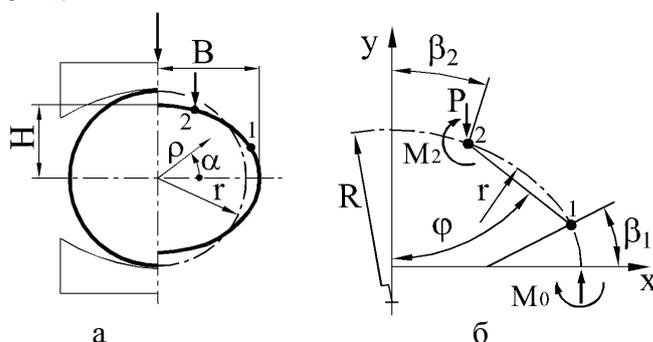


Рисунок 1 – Деформирование сечения трубы (а) и расчетная схема (б)

Точками 1 и 2 обозначены границы части  $1/4$  сечения, не перешедшей в пластическое состояние. С ней стыкуется участок стенки, приблизительно повторяющий форму инструмента, контакт с которым имеет сосредоточенный характер, чему соответствует изображение внешней силы, первоначально расположенной в плоскости симметрии, а затем раздвоившейся. Дуга его средней линии  $R\beta_2$  условно считается эквидистантой поверхности инструмента, однако данное условие не применимо к толстостенным трубам. Стенка последних, как показывает практика, заметно отходит от инструмента вблизи области контакта, где она может выпрямляться и даже изгибаться в обратную сторону.

Скачок кривизны средней линии в точке 2 обуславливается эффектом “пластического шарнира”, свойственным изгибу жесткопластического материала. В пределах угла  $\beta_1$  стенка подвергается изгибу со сжатием по периметру, исходная толщина ее  $t_0$  получает положительное приращение  $\Delta t$ , приращение кривизны средней линии  $\Delta \xi$  плавно изменяется от максимального значения на границе квадранта до нуля в точке 1.

Практика применения рассматриваемой операции нуждается в создании расчетной базы для прогнозирования соотношения приращений размеров  $H$  и  $B$ . Условно перенесем точки 1 и 2 на исходную среднюю линию, сохраняя длины дуг 1-2 и соседствующих с ней. Координаты перенесенных точек обозначаем  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Деформация по толщине стенки  $\varepsilon_p = -\varepsilon_\alpha$ , при этом  $\varepsilon_\alpha \approx y\Delta\xi$ , где  $y$  – координата, отсчитываемая от нейтральной линии в сторону положительных деформаций  $\varepsilon_\alpha$ . Ее смещение  $c$  относительно средней линии материала при изгибе со сжатием вызывает приращение толщины стенки  $\Delta t = ct_0\Delta\xi$ .

С учетом плоского деформированного состояния трубы и постоянного напряжения текучести  $\sigma_s$  моменты внутренних сил, обозначенные на рисунке:  $M_0 \approx M_2 \approx \sigma_s t_0^2 / (2\sqrt{3})$ . При

$$\text{этом } P = \frac{M_0 + M_2}{r(1 - \cos \alpha_2)} = \frac{2c}{\sqrt{3}} \sigma_s, \text{ откуда } c = \frac{t_0^2}{4r(1 - \cos \alpha_2)}.$$

Здесь и далее моменты и сила отнесены к единице длины трубы. Применим известную формулу момента изгиба листа с одновременным действием продольной силы  $P$  [1], из которой получаем функцию момента внутренних сил в диапазоне  $\alpha_1 \geq \alpha \geq 0$ :

$$M = \frac{\sigma_s t^2}{2\sqrt{3}} \left[ 1 - \left( \frac{\sqrt{3}P}{2\sigma_s t_0} \right)^2 \right].$$

Функция не учитывает небольшое уменьшение продольной составляющей силы  $P$  и появление сдвигающей составляющей (также весьма малой) при углах  $\alpha$ , отличных от нуля. Ее несоответствие принятому выше приближенному выражению  $M_2$  не превышает нескольких процентов. Также невелика погрешность подстановки исходной толщины  $t_0$  стенки в отношение, заключенное в скобки, что упрощает выражение производной момента. С учетом  $t = t_0 + \Delta t$  имеем

$$\frac{dM}{d\Delta\xi} = \frac{\sigma_s t c t_0}{\sqrt{3}} \left[ 1 - \left( \frac{\sqrt{3}P}{2\sigma_s t_0} \right)^2 \right].$$

Поскольку  $M = M_0 - rP(1 - \cos \alpha)$  и  $\frac{dM}{d\alpha} = -rP \sin \alpha$ , получаем уравнение

$$\frac{d\Delta\xi}{d\alpha} \cdot \frac{\sigma_s (t_0 + c t_0 \Delta\xi) c t_0}{\sqrt{3}} = -rP \sin \alpha$$

и результат его интегрирования:

$$\sigma_s \left( \Delta\xi + \frac{c}{2} \Delta\xi^2 \right) c t_0^2 = \sqrt{3} r P \cos \alpha + C.$$

Принимаем величину  $\Delta\xi^2$  равной нулю и определяем произвольную постоянную  $C$ , исходя из заданного изменения кривизны  $\Delta\xi_0$  средней линии сечения при  $\alpha = 0$ . После подстановки выражения  $C$ , а также силы  $P$  и смещения  $c$

$$\Delta\xi = \Delta\xi_0 + \frac{4r(1 - \cos \alpha_2)}{t_0^2} (\cos \alpha - 1). \tag{1}$$

На границе пластического и жесткого участков  $\Delta\xi = 0$ , следовательно,

$$\alpha_1 = \arccos \left[ 1 - \frac{\Delta\xi_0 t_0^2}{4r(1 - \cos \alpha_2)} \right]. \tag{2}$$

Угловая координата  $\alpha_1$  определяет положение точки 1, перенесенной на исходную среднюю линию сечения – окружность радиуса  $r$ . Деформирование сечения изменяет угол касательной к средней линии на величину  $\gamma$ , приблизительно равную интегралу функции (1), т.е.

$$\gamma = r \Delta\xi_0 \alpha_1 - \frac{4r^2(1 - \cos \alpha_2)}{t_0^2} (\alpha_1 - \sin \alpha_1). \tag{3}$$

В формулы (2) и (3) подставляем значения  $\Delta\xi_0$  и  $\alpha_2$ , последнее задаем приближенно равным  $0,5\pi$ . Определив  $\alpha_1$  и  $\gamma$ , подсчитываем  $\beta_1 = \alpha_1 + \gamma$  и  $\beta_2 = (0,5\pi - \alpha_2)r/R$ . Корректируем  $\alpha_2$ , приравняв его  $\beta_2 + \gamma$ , и повторяем расчет до получения корректирующего значения  $\alpha_2$ , совпадающего с заданным в предыдущей итерации по трем значащим цифрам. Предполагается, что расчетные формулы введены в какую-либо вычислительную программу и выполнение двух-трех итераций занимает считанные секунды.

Для расчета размеров  $H$  и  $B$  деформированной средней линии, показанных на рисунке 1, а, применяем приближенную замену ее участка, ограниченного углом  $\beta_1$ , дугой радиуса  $r_1 = r\alpha_1/\beta_1$ . Угол  $\varphi$  наклона хорды дуги радиуса  $r$  отличается от его начального значения до деформирования сечения на установленную выше величину  $\gamma$ . В остальном расчет  $H$  и  $B$  элементарен, его результаты представлены на рисунке 2 данными о приращениях размеров  $\Delta B > 0$  и  $\Delta H < 0$  от исходных значений, равных  $r$ .

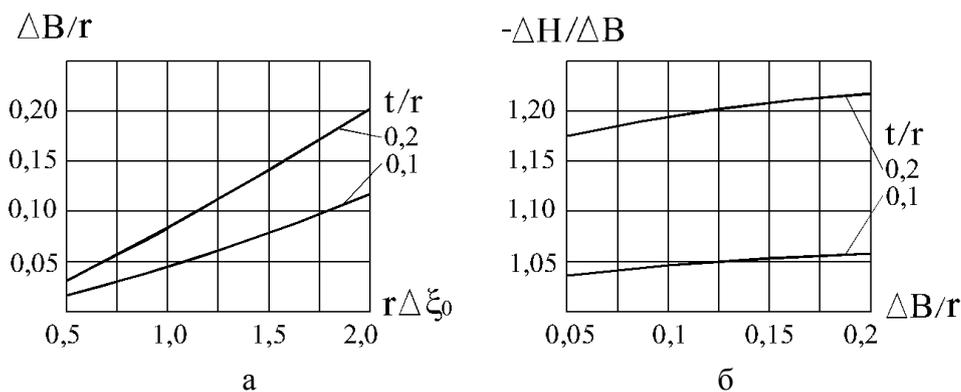


Рисунок 2 – Связь параметров деформируемого сечения трубы

В расчете принимали соотношение радиусов инструмента и трубы  $R/r = 2$ . Полученные соотношения  $-\Delta H/\Delta B$  примерно совпадают с опытными данными [2]. Деформировали образцы трубы из стали 20 с размерами:  $r = 14,5$  мм,  $t_0 = 3$  мм. В начале деформирования получили соотношение  $\Delta H = -1,1\Delta B$ . При дальнейшем уменьшении высоты сечения отношение  $\Delta H/\Delta B$  стремится к  $-0,7$ .

Графики на рисунке 2, а облегчают задание значения  $\Delta\xi_0$  в числе прочих исходных данных так, чтобы оно примерно соответствовало получению требуемой ширины сечения трубы  $2B + t_0$ . Если рассчитанное значение ширины существенно превышает требуемое, уменьшают заданное  $\Delta\xi_0$  и повторяют расчет. В итоге определяется показатель  $\Delta H/r$  уменьшения высоты сечения трубы, обеспечивающего требуемое значение  $\Delta B/r$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А.Попов / М.: «Машиностроение». – 1977. – 278 с.
2. Вдовин, С.И. Оценка параметров овальности трубы при деформировании ее плитами / С.И.Вдовин, Д.Н.Мальцев, Н.В.Татарченков / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2. С. 13 – 15.

**Мальцев Денис Николаевич**  
 Госуниверситет – УНПК, г. Орел  
 аспирант кафедры Автопласт  
 г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
 Моб. тел.: 8-920-283-57-40  
 denis\_28@inbox.ru

D.N. MALTSEV

### CIRCULAR SECTION DEFORMATION OF STRIGHT TUBE

*Here is examined tube deformation with the punch to give an oval shape to a cross section.*

**Keywords:** rigid-plastic material; light-gauge tube wall; centre line of wall section; center-line bowing.

### BIBLIOGRAPHY

1. Popov, E.A. Osnovy teorii listovoj shtampovki / E.A.Popov / M.: «Mashinostroenie». – 1977. – 278 s.
2. Vdovin, S.I. Ocenka parametrov oval'nosti truby pri deformirovanii ee plitami / S.I.Vdovin, D.N.Mal'cev, N.V.Tatarchenkov / Kuznechno-shtampo-vochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2012. – № 2. S. 13 – 15.

**Maltsev Denis Nikolaevich**  
 State University - unpk, Orel  
 postgraduate student of the Department Avtoplast  
 Orel, Naugorskoye highway, 29  
 Mob. phone: 8-920-283-57-40  
 denis\_28@inbox.ru

# **МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ** **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК 621.924

Г.В. БАРСУКОВ, Т.А. ЖУРАВЛЕВА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ НА РАССЛОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА**

*Авторами статьи проведены экспериментальные исследования влияния технологических режимов гидроабразивного резания на расслоение поверхности деталей из стеклотекстолита, получены регрессионные модели, позволяющие прогнозировать качество поверхности после обработки.*

*Ключевые слова:* гидроабразивное резание, стеклотекстолит, расслоение, растрескивание.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в различных конструкциях, узлах механизмов машин, строительстве, машиностроении, и других областях широко применяются конструкции из металлов, пластмасс и наполненных пластиков, содержащих механические соединения. Но основной целью совершенствования применяемых конструкций аппаратов и машин и является снижение их массы и размеров с одновременным улучшением прочностных характеристик, повышением надёжности и долговечности. Для решения поставленной задачи производят замену традиционно применяемых металлов и их сплавов на современные, ничем не уступающие по своим физико–механическим характеристикам армированные пластики. К числу таких материалов относят стеклопластики различных марок.

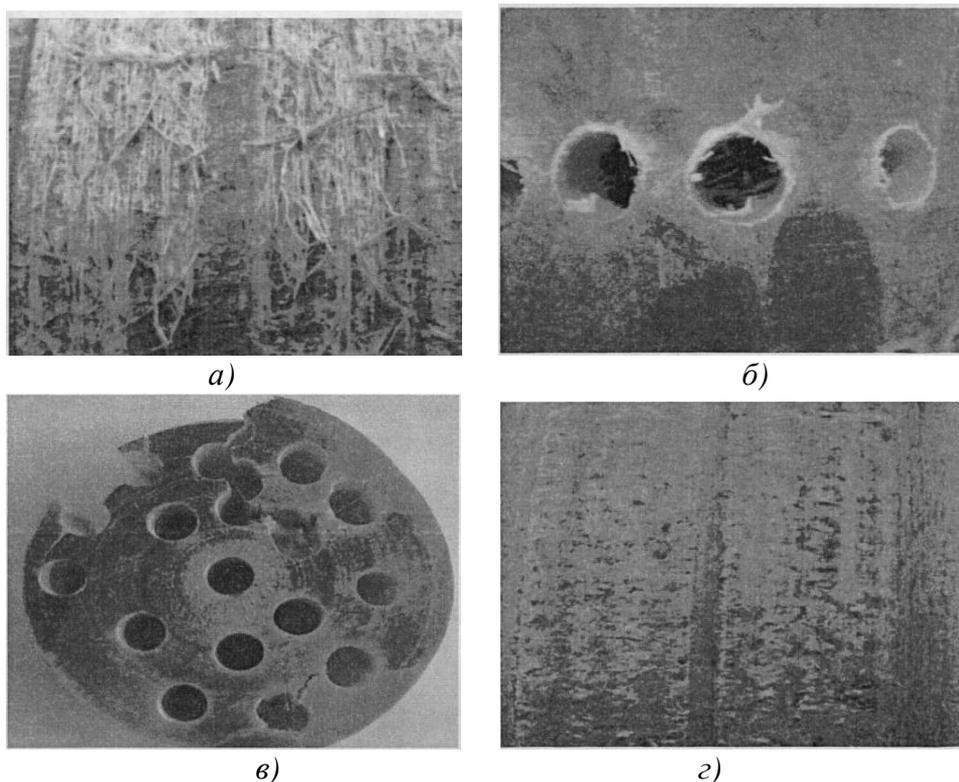
Стеклопластик обладает многими очень ценными свойствами, позволяющими ему считаться одним из материалов будущего: малый вес (в среднем в 5-6 раз меньше, чем у черных и цветных металлов); диэлектрические свойства; высокие механические характеристики, превосходящими некоторые сплавы цветных металлов и сталей; теплоизоляционные свойства, и высокая коррозионная стойкость.

Специалисты, работающие в электротехнических, электронных и других отраслях промышленности, где используются различные изделия из стеклотекстолита, сталкиваются со сложностями его обработки. Традиционная технология обработки этого материала включает в себя различные методы механической обработки резанием.

Структура и свойства стеклотекстолита в процессе его механической обработки оказывают значительное влияние на качество обработки деталей, заключающиеся в следующем:

1. Ярко выраженная анизотропия свойств материала. Приводит к различным условиям процесса резания, в частности стружкообразования, при обработке вдоль и поперек армирующих волокон, что сказывается на степени шероховатости обработанных поверхностей.

2. Слоистая структура стеклотекстолита и в ряде случаев низкая адгезионная связь наполнителя со связующим составляет относительную сложность получения высокого качества поверхности. Основными видами брака при обработке деталей из стеклопластиков являются: отслаивание материала, растрескивание заготовок, разломачивание и образование пережогов на поверхностях детали (рис. 1). При затуплении инструмента и из-за низкой адгезии связующего с армирующим волокном образуются трещины между волокном и связующим, происходит выкрашивание связующего, что ухудшает качество поверхности. Кроме того, при перерезании армирующих волокон, особенно при перекрестном армировании, наблюдается разломачивание волокон.



**Рисунок 1 – Виды брака**

*а – отслаивание, б – разломчивание, в – растрескивание, г – прижоги*

3. Низкая теплопроводность материала обуславливает слабый отвод теплоты со стружкой и в обрабатываемое изделие, поэтому при обработке стеклотекстолита основная доля теплоты отводится через режущий инструмент, значительно снижая при этом его стойкость.

4. Высокие абразивные свойства наполнителя. Наполнителем стеклотекстолита являются стеклянные волокна, обладающие высокой твердостью и абразивной способностью. Наличие в зоне резания твердых составляющих наполнителя приводит к интенсивному износу инструмента.

5. Высокие упругие свойства стеклотекстолита приводят к увеличенным площадкам контакта на задних поверхностях инструмента. В процессе резания та часть срезаемого слоя, которая подминается под заднюю поверхность режущего клина благодаря упругой деформации материала и наличию радиуса округления режущей кромки инструмента, упруго деформируется, а затем восстанавливается на величину  $H_{упр}$ . На точность изделий из стеклотекстолита при их обработке резанием влияют также упругие деформации самих деталей под действием сил резания и в результате усилий закрепления.

6. Низкая теплостойкость. Существенной особенностью стеклопластиков, является их низкая теплостойкость. В зависимости от типа связующего теплостойкость этих материалов составляет 160-300 °С. При температурах, выше указанных, происходит выгорание связующего, на поверхности обработанной детали появляются пережоги. Поэтому уровень температур в зоне резания должен быть значительно меньше, чем при обработке металлов.

7. Образование в процессе обработки стеклопластика мелкодисперсной пыли. Такие мелкодисперсные частицы, прежде всего, вредны для здоровья станочников. Проникая в органы дыхания, глаза, загрязняя поверхность кожного покрова, пыль способствует возникновению заболеваний дыхательных путей, глаз и кожного покрова в зависимости от ее химического состава и степени превышения предельно допустимых норм запыленности в зоне дыхания работающих в цехе.

Исключить влияние вышеперечисленных факторов на качество деталей и улучшить экологию рабочих мест при обработке стеклотекстолита позволяет технология гидроабразивной резки (ГАР) [1].

Применение метода ГАР для обработки деталей из стеклотекстолита позволяет:

- устранить недостатки обработки стеклотекстолита механическими методами;
- легко производить обработку заготовок фигурного профиля;
- значительно снизить отход материала вследствие нерационального раскроя и больших припусков;
- производить обработку стеклотекстолита на рабочем месте с лучшей экологией;
- достигнуть существенного, до 4,5...4,8 раз, снижения трудоемкости изготовления деталей.

Производственный опыт по резке заготовок из стеклотекстолита выявил проблему образования в материале расслоений различной величины от 2...5 мм до 70...80 мм (рис. 2) в местах врезания в материал. Влияние на качество обработки небольших расслоений можно исключить технологическими приемами [2, 3]:

- производить врезание в месте предполагаемого отхода материала;
- врезаться в материал на расстоянии, удаленном от контура детали, большем предполагаемой величины расслоения;
- и др.

Однако данные приемы не всегда удается использовать по причинам конструктивных особенностей деталей или невозможности получения рационального раскроя, введению дополнительных припусков, что в свою очередь приводит к увеличению расхода материала. Поэтому была поставлена задача об исключении образования расслоений за счет оптимизации технологии гидроабразивного резания слоистых стеклопластиков на примере наиболее широко применяемого материала - стеклотекстолита.

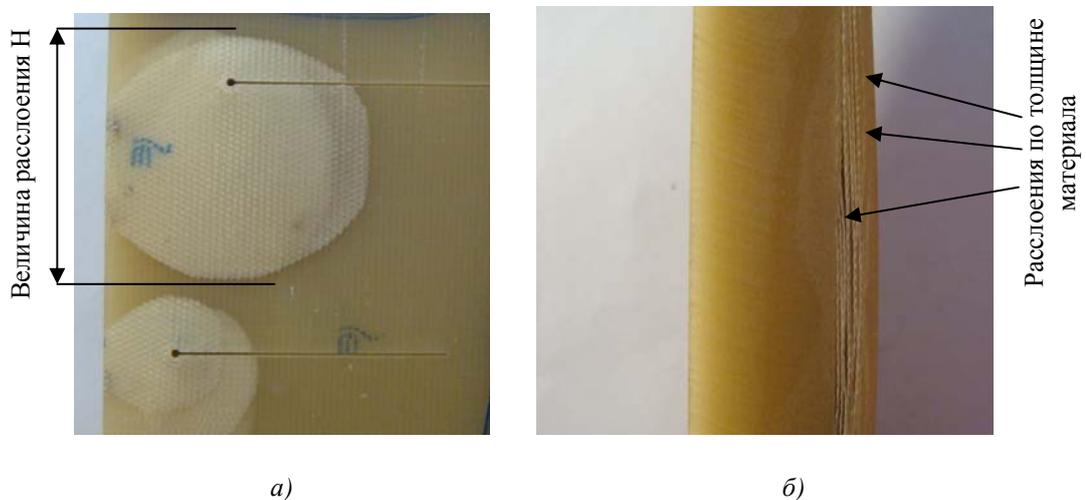


Рисунок 2 – Экспериментальные образцы (давление врезания-150 МПа, диаметр сопла 0,8мм, зернистость абразива-80 mesh (средний диаметр абразивного зерна 0,178мм))  
а – вид сверху, б – вид слева (торец заготовки)

Основными технологическими параметрами при врезании гидроабразивной струи в материал являются [4]:

- тип врезания (по спирали, по прямой);
- давление истечения гидроабразивной струи при врезании;
- расход абразивного материала при врезании;
- расстояние между соплом и материалом;
- диаметр выходного отверстия сопла;
- зернистость абразивного материала.

Для изучения зависимости величины расслоений при врезании от вышеперечисленных параметров был проведен ряд многофакторных экспериментов.

**Основная часть.** В качестве объекта исследования были использованы образцы электротехнического листового стеклотекстолита СТЭФ-1 с (ГОСТ 12652-74) толщиной 20 мм, т.к. практика показала, что вероятность появления расслоений на материале большей толщины, при врезании, наиболее высока.

Исследования включали в себя проведение 4-х серий полных факторных экспериментов (ПФЭ) типа 2<sup>5</sup>. Врезание гидроабразивной струи в образцы проводилось двумя приемами: по спирали Ø 1мм и по прямой. В качестве абразивного материала для резания использовался гранатовый абразив двух видов зернистости: 80 mesh и 120 mesh.

Результаты экспериментов подвергали как регрессионному так и дисперсионному анализу, что позволило с большей объективностью оценить факторы и эффекты их взаимодействия, выявить факторы оказывающие наиболее существенное, доминирующее влияние на величину расслоений. При этом учитывали априорные сведения о том, что при решении подобных задач дисперсионный анализ оказывается более чувствительным по сравнению с регрессионным. При этом варьируемыми параметрами были:

- X<sub>1</sub>- давление истечения гидроабразивной струи при врезании P, МПа;
- X<sub>2</sub>- расход абразивного материала при врезании Q, г/мин;
- X<sub>3</sub>- расстояние между соплом и материалом l, мм;
- X<sub>4</sub>- диаметр выходного отверстия сопла D, мм;
- X<sub>5</sub>- средний диаметр абразивного зерна d, мм.

Задача экспериментальных исследований сводилась к определению размера расслоений H и получению уравнения регрессионного анализа в виде:

$$H=b_0+b_1X_1+ b_2X_2+... + b_5X_5+ b_{12}X_1 X_2+ b_{13}X_1 X_3+... + b_{12345}X_1 X_2 X_3 X_4 X_5,$$

где b<sub>i</sub> – коэффициенты регрессии;

X<sub>i</sub> – варьируемые параметры.

В данной работе представим результаты экспериментов для одного типа врезания гидроабразивной струи в материал - врезания по спирали, как более применяемого и производительного способа по сравнению с прямым врезанием.

Для определения основных параметров, наиболее сильно влияющих на величину расслоения при врезании по спирали, было проведено 2 ПФЭ 2<sup>5</sup>.

Область варьирования входных факторов для ПФЭ2<sup>5</sup> №1 и №2 представлена в таблицах 1 и 2.

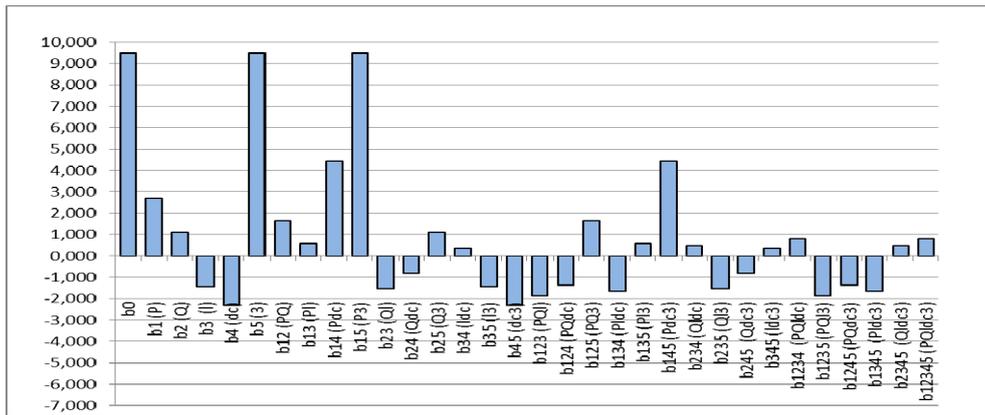
Анализ результатов экспериментов показан на рисунках 3, 4.

Таблица 1 – Область варьирования входных факторов в эксперименте № 1

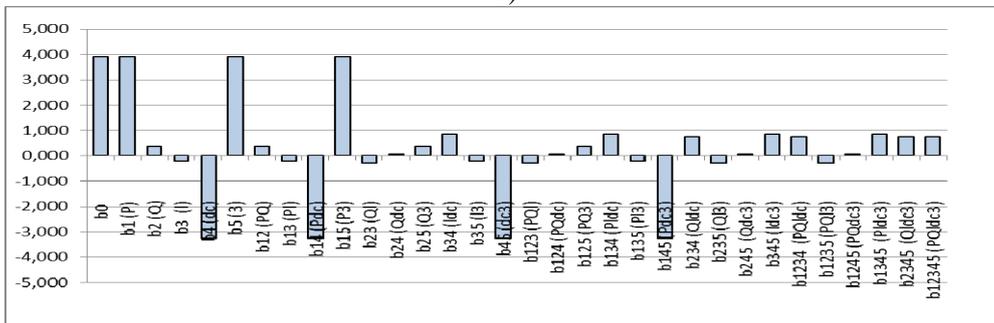
Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования Δx
	-1	0	+1	
Давление, МПа	70	110	150	80
Расход абразива при врезании, г/мин	100	150	200	100
Расстояние от материала до сопла при врезании, мм	2	3	4	2
Диаметр сопла, мм	0,6	0,7	0,8	0,2
Средний диаметр абразивного зерна, мм	0,125	0,1515	0,178	0,053

Таблица 2 – Область варьирования входных факторов в эксперименте № 2

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования $\Delta x$
	-1	0	+1	
Давление, МПа	70	110	150	80
Расход абразива при врезании, г/мин	100	150	200	100
Расстояние от материала до сопла при врезании, мм	2	3	4	2
Диаметр сопла, мм	0,8	0,975	1,15	0,35
Средний диаметр абразивного зерна, мм	0,125	0,1515	0,178	0,053



а)



б)

Рисунок 3 – Результат ПФЭ  $2^5$  при врезании по спирали

а – регрессионный анализ эксперимента №1; б – регрессионный анализ эксперимента №2

По результату регрессионного анализа проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- на величину расслоения значительное влияние оказывают: зернистость абразива ( $X_5$ ), давление врезания ( $X_1$ ) и диаметр сопла ( $X_4$ );

- с увеличением зернистости абразива размер расслоений увеличивается;

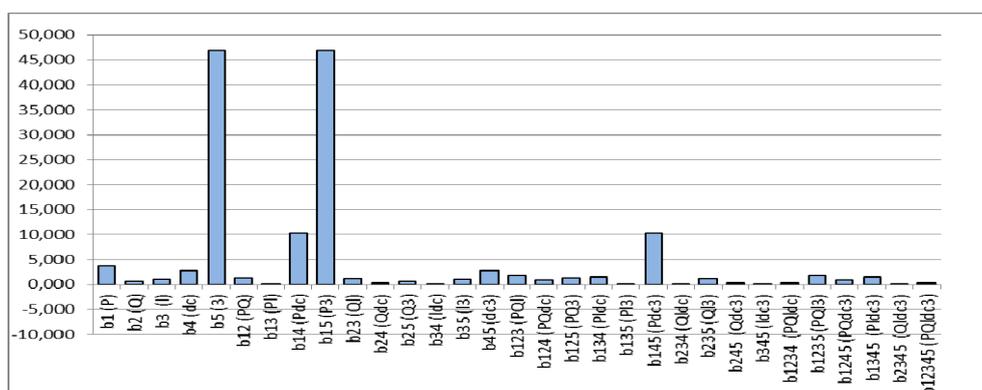
Сила воздействия на материал при использовании абразива меньшей зернистости ниже, чем при использовании абразива большей зернистости [5, 6].

- при увеличении давления врезания, величина расслоения увеличивается;

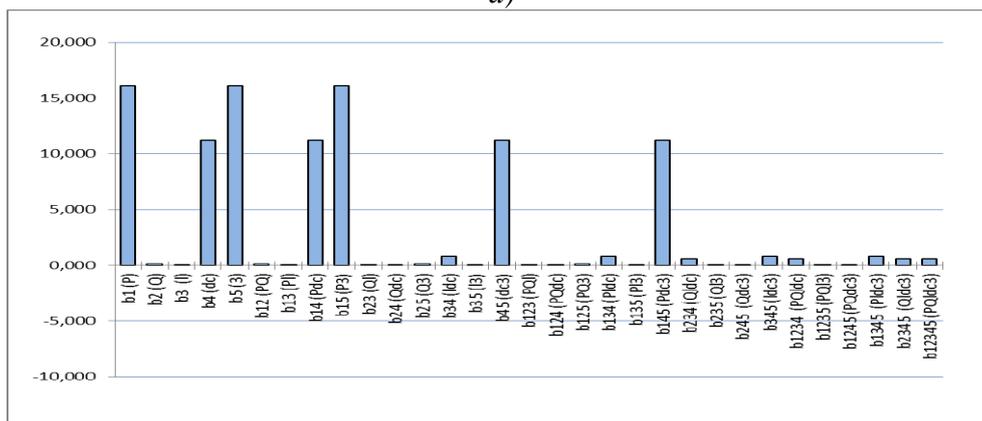
- с увеличением диаметра сопла величина расслоений уменьшается;

При увеличении диаметра сопла сила воздействия на материал уменьшается. При большем диаметре сопла абразивно-жидкостная струя имеет большую однородность.

- расход абразива ( $X_2$ ) и расстояние от материала до сопла ( $X_3$ ) не оказывают значительного влияния на размер расслоений.



а)



б)

Рисунок 3 – Результат ПФЭ 2<sup>5</sup> при врезании по спирали

а – дисперсионный анализ эксперимента №1; б – дисперсионный анализ эксперимента №2

Для более объективной оценки влияния факторов и их взаимодействия на отклик регрессионный анализ результатов многофакторного эксперимента дополняют дисперсионным анализом.

Дисперсионный анализ результатов экспериментов показал, что наибольший % дисперсии отклика ( $H$ ) вызван влиянием факторов: зернистости абразива, диаметра сопла, давления и их взаимодействием т.е. подтвердил выводы при регрессионном анализе. Поэтому, отбросив факторы, незначительно влияющие на величину расслоения, обрабатываем ПФЭ 2<sup>3</sup>, где варьируемые параметры:

- $X_1$ - давление истечения гидроабразивной струи при врезании  $P$ , МПа;
- $X_2$ - диаметр выходного отверстия сопла  $D$ , мм;
- $X_3$ - средний диаметр абразивного зерна  $d$ , мм.

Эксперимент проводился с постоянными расходом абразива  $Q = 200$  г/мин и расстоянием от материала до сопла  $l = 4$  мм.

Область варьирования входных факторов для ПФЭ 2<sup>3</sup> №3 и №4 представлена в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Область варьирования входных факторов в эксперименте № 3

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования $\Delta x$
	-1	0	+1	
Давление, МПа	70	110	150	80
Диаметр сопла, мм	0,6	0,7	0,8	0,2
Средний диаметр абразивного зерна, мм	0,125	0,1515	0,178	0,053

Таблица 4 – Область варьирования входных факторов в эксперименте № 4

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования Δх
	-1	0	+1	
Давление, МПа	70	110	150	80
Диаметр сопла, мм	0,8	0,975	1,15	0,35
Средний диаметр абразивного зерна, мм	0,125	0,1515	0,178	0,053

По результатам обработки ПФЭ 2<sup>3</sup> № 3 получено уравнение регрессии зависимости величины расслоения материала при врезании от режимов обработки:

$$H=7,667+3,083X_1-2,333X_2+7,667X_3+2,25X_1X_2+3,083X_1X_3-2,333X_2X_3+2,25X_1X_2X_3 \quad (1)$$

По результатам обработки ПФЭ 2<sup>3</sup> №4 получено уравнение регрессии зависимости величины расслоения материала при врезании от режимов обработки:

$$H=3,75+3,75X_1-1,583X_2+3,75X_3-1,583X_1X_2+3,75X_1X_3-1,583X_2X_3-1,583X_1X_2X_3 \quad (2)$$

**Выводы.** Рассмотрим результаты и проведем анализ зависимости величины расслоения при врезании от рассматриваемых технологических параметров:

1) давление врезания (рис. 4)

- при использовании абразива с размером зерна 0,178мм (80 mesh) с увеличением давления увеличивается величина расслоения материала. При этом интенсивность роста величины расслоения снижается с увеличением диаметра сопла.

- при использовании абразива с размером зерна 0,125мм (120mesh) давление струи в рассматриваемом интервале на величину расслоения не влияет.

Изменение количества абразива при врезании Q и расстояния от материала до сопла l на величину расслоения влияет незначительно.

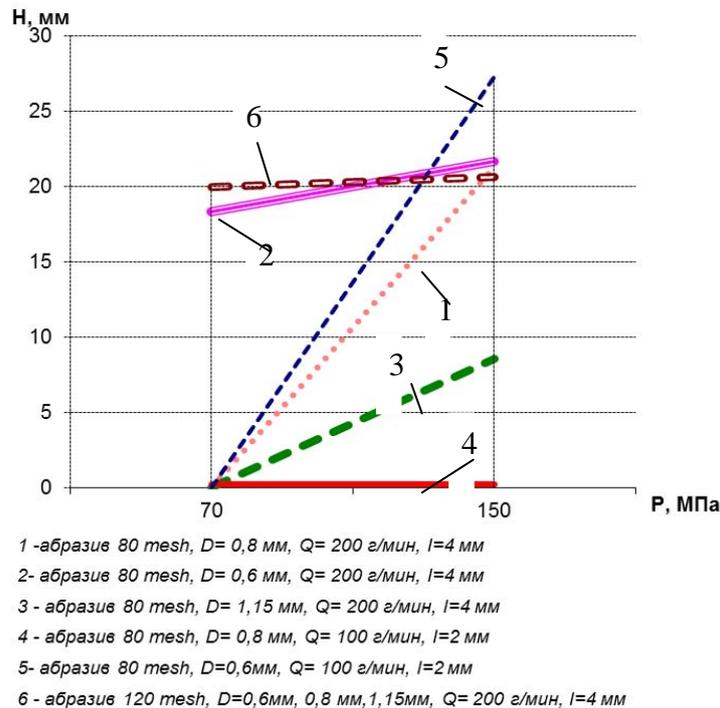


Рисунок 4 – Влияние давления врезания на величину расслоения материала

2) диаметр сопла (рис. 5)

- при использовании абразива зернистостью 80 mesh с увеличением диаметра сопла наблюдается снижение величины расслоения как при давлении 70 МПа, так и при давлении врезания 150 МПа;

- при использовании абразива зернистостью 120 mesh диаметр сопла на величину расслоения не влияет.

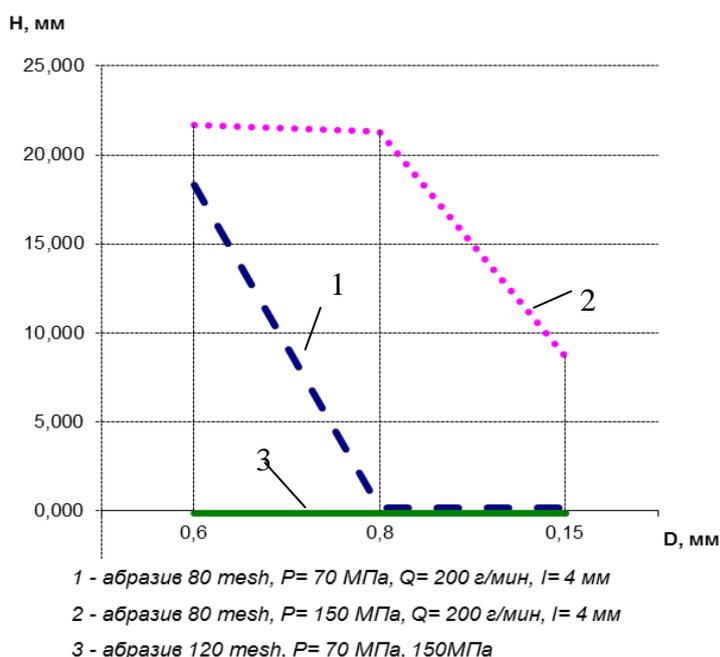


Рисунок 5 – Влияние диаметра на величину расслоения материала

3) величина абразивного зерна (рис. 6)

- при давлении струи 150 МПа для сопел диаметром 0,6мм, 0,8мм, 1,15мм с увеличением зернистости абразива наблюдается увеличение величины расслоения материала;
- при давлении 70 МПа для сопла диаметром 0,6 мм с увеличением зернистости абразива увеличивается величина расслоения, при использовании сопел диаметром 0,8мм и 1,15мм зернистость абразива не влияет на образование расслоения.

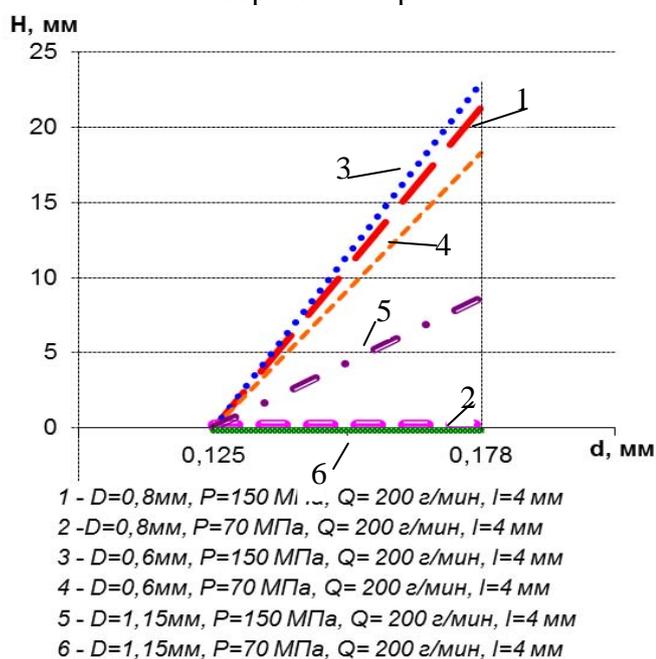


Рисунок 6 – Влияние величины абразивного зерна на величину расслоения материала

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что при подборе оптимальных режимов можно эффективно использовать технологию гидроабразивного резания для обработки деталей из стеклотекстолита.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов, Ю.С. Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, Е.Г. Алюшин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – № 6 – С. 15- 20.

2. Барсуков, Г.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна [Текст] / Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Справочник. Инженерный журнал. - 2008. - № 1. - С. 9 – 14.
3. Степанов, Ю.С. Моделирование разрушения многослойной преграды с газовым зазором под действием сверхзвукового струйного потока свободных абразивных частиц [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 4-2. – 2010. – С. 65 – 70.
4. Степанов, Ю.С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков // СТИН. -2003. - № 10. - С. 15 –17.
5. Барсуков, Г.В. Разрушение преграды сверхзвуковым потоком свободных абразивных частиц [Текст] / Г.В. Барсуков, Ю.С. Степанов, А.В. Михеев. - М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 152 с.
6. Степанов, Ю.С. Влияние параметров течения сверхзвуковой гидроабразивной струи на геометрическую форму поверхности разрушения преграды [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2 -5. С. 53 – 63.

**Барсуков Геннадий Валерьевич**

Государственный университет - УНПК, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры ТМиКТИ  
Тел. (4862) 419818  
E-mail: awj@list.ru

**Журавлева Татьяна Александровна**

Государственный университет - УНПК, г. Орел  
Аспирант кафедры ТМиКТИ  
Тел. (4862) 419818  
E-mail: upk@ostu.ru

---

G.V. BARSUKOV, T.A. ZHURAVLEVA

**STUDY OF THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS  
WATERJET CUTTING THE BUNDLE OF PARTS OF FIBERGLASS**

*The authors conducted a experimental study of the effect of technological modes of waterjet parts for surface cracking of the fiberglass, obtained regression model to predict the quality of the surface after treatment.*

**Keywords:** *abrasive waterjet cutting, fiberglass, delamination, cracking.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Stepanov, Ju.S. Sovremennye tehnologii gidro- i gidroabrazivnoj obrabotki zagotovok [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, E.G. Aljushin // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii. – 2012. – № 6 – S. 15- 20.
2. Barsukov, G.V. Opredelenie proizvoditel'nosti gidroabrazivnogo rezaniya s uchetom harakteristik abrazi-vnogo zerna [Tekst] / G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. - 2008. - № 1. - S. 9 – 14.
3. Stepanov, Ju.S. Modelirovanie razrusheniya mnogoslojnoj pregrady s gazovym zazorom pod dejstviem sverhzhukovogo strujnogo potoka svobodnyh abrazi-vnyh chastic [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - № 4-2. – 2010. – S. 65 – 70.
4. Stepanov, Ju.S. Formirovanie kachestva poverhnostnogo sloja detalej pri rezanii sverhzhukovoj struej zhidkosti [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov // STIN. -2003. - № 10. - S. 15 –17.
5. Barsukov, G.V. Razrushenie pregrady sverhzhukovym potokom svobodnyh abrazi-vnyh chastic [Tekst] / G.V. Barsukov, Ju.S. Stepanov, A.V. Miheev. - М.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2010. – 152 с.
6. Stepanov, Ju.S. Vlijanie parametrov techeniya sverhzhukovoj gidroabrazivnoj strui na geometricheskiju formu poverhnosti razrusheniya pregrady [Tekst] / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2012. – № 2 -5. S. 53 – 63.

**Barsukov Gennady Valeryevich**

State University - UNPK, Orel  
Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of ТМиКТИ  
Phone (4862) 419818  
E-mail: awj@list.ru

**Zhuravleva Tatyana Aleksandrovna**

State University - UNPK, Orel  
Postgraduate student of the Department ТМиКТИ  
Phone (4862) 419818  
E-mail: upk@ostu.ru

## ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕДЯНЫХ ГРАНУЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ВОДОЛЕДЯНОЙ ОЧИСТКИ

*В статье рассматривается все многообразие оборудования для промышленного получения искусственного льда. Все многообразие данного оборудования разделено на несколько групп, в зависимости от принципа работы. Каждый тип оборудования для генерирования льда рассмотрен отдельно, приведены основные характеристики, положительные и отрицательные особенности. На основе приведенных данных о льдогенераторах становится возможным выбор конкретного оборудования для создания ледяных частиц, используемых в водоледяной очистке с заранее подготовленными частицами льда.*

**Ключевые слова:** ледяная частица, получение льда, льдогенератор, замораживание, лед, водоледяная очистка.

Для осуществления процесса водоледяной очистки необходимым материалом является лед. Для метода водоледяной очистки с применением заранее подготовленных частиц льда обязательным условием является наличие оборудования для генерирования льда.

Искусственный лед получают замораживанием воды в теплообменных аппаратах-льдогенераторах при температурах от -8 до -30<sup>0</sup>С.

Льдогенераторы классифицируют по производительности, способам получения льда, типам льда, используемым хладагентам. Они различаются также системой охлаждения. Существует две системы охлаждения: водяная и воздушная.

Современные льдогенераторы бывают двух принципов действия: компрессорные, в которых лед получается путем непосредственного наморозения на поверхности испарителя, и рассольные, где вода, находящаяся в форме, замораживается циркулирующим рассолом, температура которого составляет около минус 10 градусов. Льдогенераторы различаются между собой также в зависимости от целей производства льда, а также его количества и качества. Профессиональные льдогенераторы отличаются большой производительностью и разнообразием видов получаемого льда.

Основным энергетическим показателем льдогенератора принимается удельное потребление энергии.

$$N=N_k+N_{л\dot{l}}G_{л}$$

где  $N_k$ - часовой расход энергии на компрессорно-конденсаторный агрегат, кВт;  $N_{л\dot{l}}$ - часовой расход энергии на льдогенератор и дополнительное оборудование, кВт;  $l$  - энтальпия льда, кДж/кг;  $G_{л}$  - производительность льдогенератора, кг/с.

Еще одним параметром, наглядно демонстрирующим эффективность льдогенератора является удельная затрата энергии на получение 1 килограмма льда

$$n=N_k+N_{л\dot{l}}G_{л}$$

Для большинства современных промышленных льдогенераторов  $n=145...290$  кДж/кг.

Льдогенераторы производят следующие виды технического и пищевого льда: блочный, трубчато-блочный, плитный и трубчато-плитный, малогабаритный - дробленый кусковой и пластинчатый, трубчатый, скорлупный, брикетный, кубиковый, чешуйчатый.

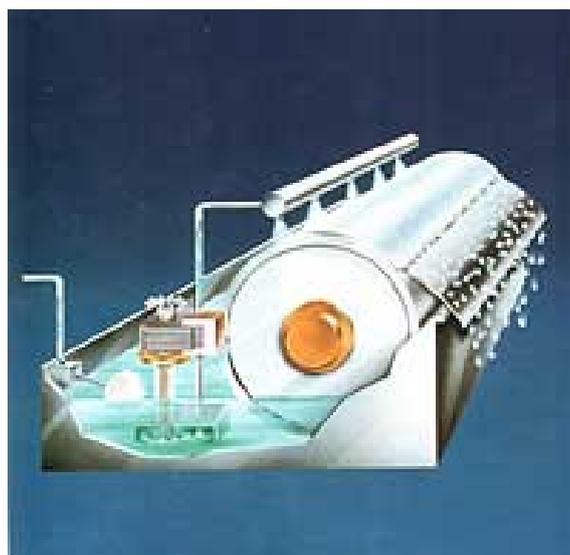
Блочный лед можно получить в результате замораживания воды в специальных льдоформах, которые помещены в бак, который предварительно изолируется и заполняется холодным рассолом. Как правило, в качестве рассола применяется раствор поваренной соли, плотность которого составляет от 1.11 до 1.13 кг/м<sup>3</sup>. В баке устанавливаются испарительные секции, которые поддерживают температуру рассола приблизительно равной -10 °С, а также мешалки с целью повышения скорости движения рассола. Подключение испарителя производится к индивидуальной холодильной машине, которая работает только на льдогенератор, или же к холодильной машине, которая обеспечивает холодильник холодом. Воду необхо-

димо замораживать в специальных формах из оцинкованной стали, толщина которой может составлять от 1 до 2.5 мм. При этом формы должны иметь вид усеченной пирамиды с целью удобной выемки льда, должны быть с ручками или же соединены при помощи железных рам, оснащенных крюками для выемки и перемещения при помощи электрокрана или тельфера. Вес блоков колеблется, как правило, от 3 до 50 кг.

Получение чешуйчатого льда в барабанном льдогенераторе.

При работе льдогенератора, насос подает воду в коллектор. Проходя через форсунки, вода распыляется на наружную часть вращающегося барабана, который охлаждается хладагентом, испаряющемся в рубашке. При этом на внешней поверхности барабана образуется тонкий слой льда, который затем срезается ножом. Избыток воды собирается в ванну и поступает на рециркуляцию.

Получаемый переохлажденный лед выбрасывается наружу (в бункер) через выходное окно.



*Рисунок 1 – Барабанный льдогенератор*

Гранулированный или колотый лед получают в шнековых льдогенераторах.

При работе льдогенератора вода самотеком поступает во внутреннюю часть цилиндра испарителя. При этом на внутренней стенке цилиндра, которая охлаждается хладагентом, испаряющемся в змеевике, образуется лед. Лед, намерзший на стенке цилиндра, соскребается шнеком, приводимым в действие электродвигателем, и переносится в верхнюю часть цилиндра, где он подпрессовывается, дозамораживается, колется и выбрасывается наружу (в бункер) через выходное окно.

Плиточный и блочный лед изготавливают в аппаратах периодического действия погружного или оросительного типов.

Для получения плиточного льда воду замораживают в отсеках, охлаждаемых рассолом или непосредственно хладагентом. Блочный лед чаще изготавливают в формах, помещенных в танки с циркулирующим рассолом.

Рассольные льдогенераторы блочного льда производят технический матовый лед или прозрачный лед в подвижных формах.

Основная часть рассольного льдогенератора - металлический бак, в котором размещены испарительная система, батареи металлических льдоформ и мешалки для циркуляции рассола. В качестве рассола используется раствор поваренной соли плотностью 1.11-1.13 г/см<sup>3</sup>. Температура рассола в баке -8...-12<sup>0</sup>С, скорость его циркуляции 0,1...0,2 м/с. Рассол охлаждается вертикально-трубным либо листотрубным погружным испарителем с температурой кипения аммиака или фреона 22 около -15<sup>0</sup>С.



Рисунок 2 – Шнековый льдогенератор

Металлические формы наполняют водой и погружают в бак с холодным рассолом. После того как вода в формах замерзла, батареи при помощи тельфера поднимают из бака, погружают в оттаивательный сосуд, затем устанавливают на опрокидыватель и освобождают от блоков льда.

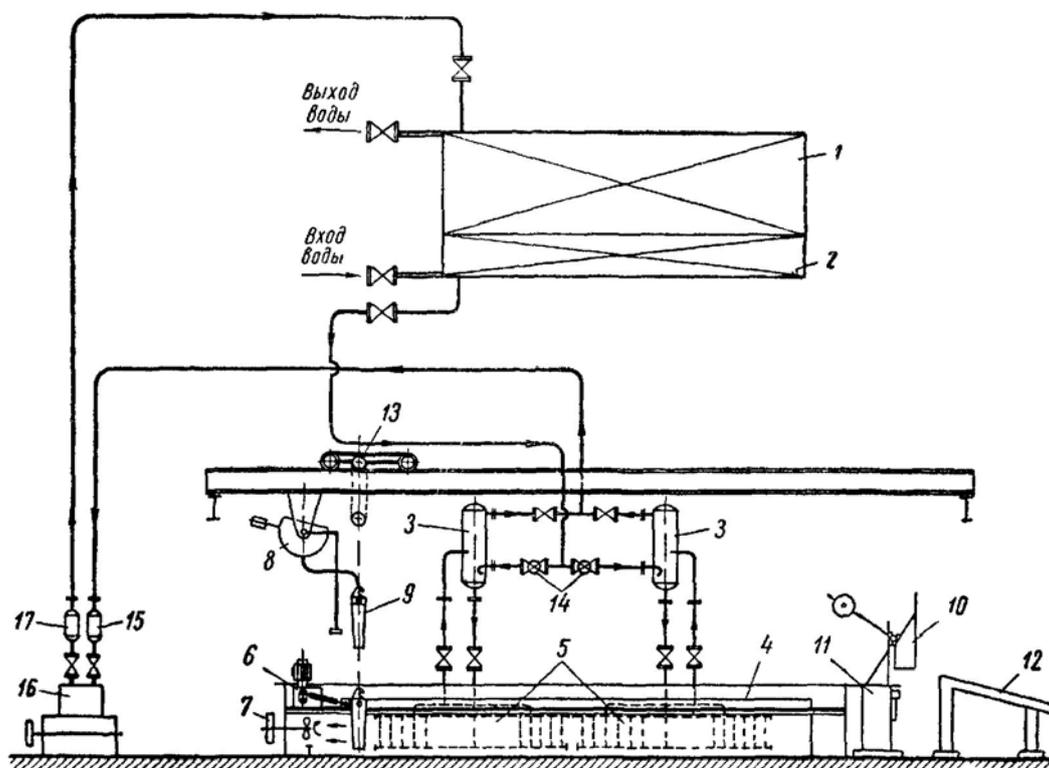


Рисунок 3 – Схема рассольного льдогенератора

На схеме обозначены: 1- конденсатор, 2- переохладитель, 3- отделитель жидкости, 4- рассольный бак, 5- испаритель, 6- толкатель льдоформ с двигателем, 7- рассольная мешалка, 8- водонаполнитель, 9- рама с льдоформами, 10- опрокидыватель, 11- оттаивательный сосуд, 12- льдоскат, 13- тележка подъемного крана, 14- регулирующий вентиль, 15- грязеуловитель, 16- холодильный компрессор, 17- маслоотделитель.

Промышленные льдогенераторы способны вырабатывать до 100 тонн блочного и 200 тонн плитного льда в сутки.

Однако, немалое значение имеет так же и себестоимость полученного льда.

Самыми эффективными являются генераторы чашуйчатого льда. Но такие частицы не подходят для использования их в процессе водоледяной очистки, поскольку имеют плоскую форму и малую толщину. Такой лед будет разрушаться во время процесса на очень малые частицы, которые не способны будут нести необходимую энергию для разрушения удаляемого слоя.

Единственным выходом является механическое дробление массива льда на частицы требуемого размера. Таким образом, для процесса водоледяной очистки с заранее подготовленными частицами льда подходят льдогенераторы для производства блочного, трубчатоблочного, плитного и трубчато-плитного, кускового и пластинчатого, трубчатого, брикетного и кубикового льда.

Для измельчения льда возможно использование дробилок различного типа. Но более подходящими являются роторные и молотковые дробилки, которые позволяют выбирать размер фракции перерабатываемого материала. Так у дробилок этих типов разброс размеров получаемых частиц весьма мал.

После дробления ледяные частицы необходимо подвергнуть просеиванию через сита, для получения фракции строго определенного интервала размеров.

*Статья подготовлена по материалам доклада на VI Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Актуальные проблемы техники и технологии машиностроительного производства».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чумак, И.Г. Холодильные установки. проектирование: учеб. пособие для вузов / И.Г. Чумак, Д.Г. Никулышина. - К.:Выща шк. Головное изд-во, 1988.-280с.
2. Чумак, И.Г. Холодильные установки / И.Г. Чумак, В.П. Чепуренко. – Под ред. И.Г. Чумака.-3е изд., переаб. и доп.-М.: Агропромиздат, 1991.-495с.
3. Зайцев, В.П. Холодильная техника / В.П. Зайцев. – М., 1962. – 344 с.
4. <http://www.infrost.ru>

### **Бурнашов Михаил Анатольевич**

Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

302020, Орел, ул. Московская, д. 34

Телефон: (4862)54 15 03

E-mail: [tmsi@ostu.ru](mailto:tmsi@ostu.ru)

### **Прежбилов Александр Николаевич**

Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Студент 5-го курса

302020, Орел, ул. Московская, д. 34

E-mail: [stker@rambler.ru](mailto:stker@rambler.ru)

### **Василенко Юрий Валерьевич**

Директор ТИ Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: (4862) 555524

E-mail: [vyuv-post@yandex.ru](mailto:vyuv-post@yandex.ru)

M.A. BURNASHOV, A.N. PREZHBILOV, Yu.V. VASILENKO

## **REVIEW OF EQUIPMENT FOR ICE PELLETS USED IN THE ICE WATER CLEANING**

*The article discusses the variety of equipment for the industrial production of artificial ice. All the variety of the equipment is divided into several groups, depending on the mode of operation. Each type of equipment for the generation of ice considered separately, the main characteristics, the positive and negative features. On the basis of the data on ice machine is possible the choice of equipment to create ice particles used in ice water cleaning with pre-ice particles.*

**Keywords:** *ice particles, ice, ice, freezing, ice, ice water cleaning.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Chumak, I.G. Holodil'nye ustanovki. proektirovanie: ucheb. posobie dlja vuzov / I.G. Chumak, D.G. Nikulyshina. - K.:Vyshha shk. Golovnoe izd-vo, 1988.-280s.
2. Chumak, I.G. Holodil'nye ustanovki / I.G. Chumak, V.P. Chepurenko. – Pod red. I.G. Chumaka.-3e izd., pereab. i dop.-M.: Agropromizdat, 1991.-495s.
3. Zajcev, V.P. Holodil'naja tehnika / V.P. Zajcev. – M., 1962. – 344 s.
4. <http://www.infrost.ru>

#### **Michael Anatolevich Burnashov**

SW Polikarpov Technological Institute FSEI HVT «State University – ESPC»

Doctor of Technical Sciences, Professor of "Mechanical Engineering Design and Technology Computer Science"

Phone: (4862) 54 15 03

E-mail: [tmsi@ostu.ru](mailto:tmsi@ostu.ru)

#### **Alexander Nikolaevich Prezhbilov**

SW Polikarpov Technological Institute FSEI HVT «State University – ESPC»

A student of the 5th year

E-mail: [stker@rambler.ru](mailto:stker@rambler.ru)

#### **Vasilenko Yuriy Valerievich**

FSBEI HVT «State University – ESPC», Orel

Can.Sc. tech.,

Тел.: (4862) 555524

E-mail: [vyuv-post@yandex.ru](mailto:vyuv-post@yandex.ru)

В.В. САВВИН, А.В. КИРИЧЕК, А.Н. АФОНИН

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТЫВАНИЯ С ПОЛНОПРОФИЛЬНОЙ СХЕМОЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ РЕЗЬБ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Авторами статьи разработана методика моделирования накатывания внутренних трапецеидальных резьб с помощью системы моделирования технологических процессов методом конечных элементов DEFORM и системы твердотельного моделирования T-FLEX CAD.*

**Ключевые слова:** *Накатывание трапецеидальной резьбы, метод конечных элементов; твердотельное моделирование; поступательная схема деформирования*

Детали, содержащие внутреннюю трапецеидальную резьбу, довольно часто применяются в машинах и механизмах элементами винтовых передач и соединений. При этом качество изготовления внутренней резьбы в значительной мере определяет эксплуатационные свойства механизма: точность кинематики, надежность, долговечность.

К способам обработки внутренних крупных и трапецеидальных резьб относятся нарезание и резьбопротягивание. Внутреннюю трапецеидальную резьбу сравнительно небольшого диаметра получают нарезанием комплектом метчиков и резьбопротягиванием. Трапецеидальные резьбы большого диаметра получают нарезанием резцами и резьбонарезными головками, резьбофрезерованием, а также вихревой обработкой. В настоящее время наибольшее количество трапецеидальных резьб получают методом нарезания.

К недостаткам резьбонарезания можно отнести низкую усталостную прочность сформированной резьбы, низкую производительность.

Накатывание резьбы в сравнении с нарезанием позволяет избежать задиры в процессе свинчивания-развинчивания деталей, а так же исключает перерезание волокон металла в процессе изготовления, и как следствие, образование концентраторов напряжения. Разрушающая нагрузка при испытаниях на разрыв повышается на 20-30 %, причем эти цифры справедливы как для витков резьбы, так и для тела детали. Увеличенная поверхностная твердость накатанных деталей обуславливает высокую износостойкость резьбовых соединений. Эти характеристики являются одними из основных преимуществ применения данного метода для обработки трапецеидальных резьб, поскольку данные резьбы используются как правило при значительных нагрузках [3, 6].

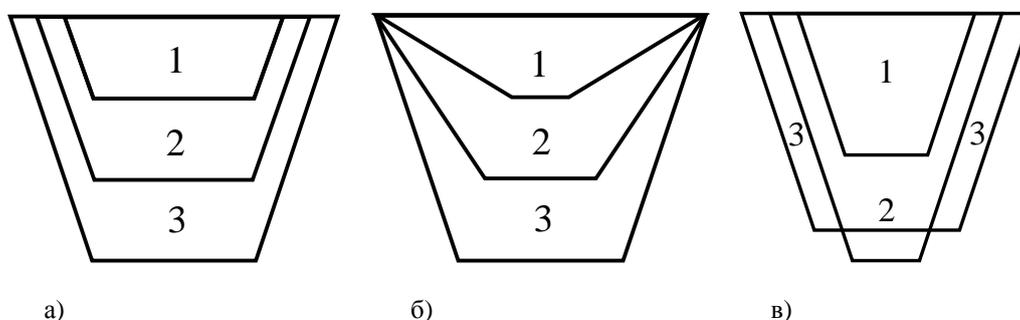
Помимо это увеличивается циклическая прочность накатанных деталей в 2-3 раза, а усталостная прочность – в 1,5 раза. Микротвердость резьбовой поверхности, полученной накатыванием, возрастает почти вдвое по сравнению с исходной, а боковые стороны профиля имеют более мелкую зернистость. Одной немаловажной особенностью накатанной резьбы является повышение антикоррозионных свойств, которое обуславливается высоким качеством поверхности [3, 6].

Накатывание внутренних резьб большого диаметра может производиться резьбонакатными головками. Накатывание резьбонакатными головками – самый универсальный и точный способ накатывания, характеризующийся наиболее широкими технологическими возможностями при изготовлении резьбы различных диаметров, длины и точности.

Применяемые, в настоящее время, в промышленности технологии и конструкции инструментов для накатывания резьбы реализуют несколько различных схем деформирования [1, 2]. Наиболее распространенные схемы деформирования при накатывании крупных резьб в осевом сечении заготовки приведены на рисунке 1.

Полнопрофильная схема деформирования (рис. 1 а) является наиболее распространенной. Она реализуется путем постепенного внедрения в заготовку в радиальном направлении витков резьбы инструмента, имеющих форму окончательно сформированной впадины резьбы заготовки. Основным достоинствами данной схемы является простота реализации

подачи технологическим методом. Данная схема также рациональна с точки зрения обеспечения наилучших условий для течения металла заготовки и, следовательно, снижения сил деформирования и повышения стойкости резбонакатного инструмента при накатывании резьб сравнительно небольшого шага. Разновидности данной схемы применяются в настоящее время при накатывании внутренних трапецидальных резьб, среди которых стоит выделить схему деформации при которой первый виток формирует радиальную канавку, а затем, последующими витками формируется окончательный профиль.



**Рисунок 1 – Наиболее распространенные схемы деформирования при накатывании внутренних трапецидальных резьб**

Угловая схема деформирования (рис. 1 б) отличается тем, что профиль впадины резьбы на заготовке формируется путем постепенного увеличения угла инструмента. В связи со слабой изученностью область применения угловой схемы деформирования пока остается не определенной.

Накатывание крупных трапецидальных и круглых резьб с использованием полнопрофильной и угловой схем деформирования весьма затруднительно и обуславливается образованием застойных зон под притупленными вершинами инструмента, которые не деформируются сами и препятствуют деформации окружающего их металла.

Возвратная схема деформирования (рис. 1 в) разработана чтобы уменьшить недостаток двух предыдущих схем деформирования. Реализация данной схемы предполагает вначале накатывание резьбы, с профилем несколько более глубоким, но с меньшей шириной впадины, чем окончательный профиль резьбы. На окончательных циклах деформации металл закатывается от боковых сторон профиля во впадину.

Решение задачи о выборе схемы деформирования при накатывании внутренних трапецидальных резьб и определения предельно допустимого накопленного радиального обжатия требует исследования полей напряжений и деформаций в инструменте и заготовки при накатывании резьбы, а также выявления возможности разрушения заготовки из-за исчерпания запаса пластичности. Проводившиеся, до настоящего времени, исследования разрушения резьб и профилей при их накатывании были весьма ограничены и носили, в основном, экспериментальный характер.

Наиболее подходящим для исследования процесса накатывания трапецидальной резьбы и определения наиболее рациональной схемы деформирования представляется метод конечных элементов (МКЭ) [5]. По сравнению с прочими, аналогичными по назначению методами, МКЭ позволяет определить распределение полей напряжений и деформаций по всему объему инструмента и заготовки, что является важным условием при исследовании объемного пластического деформирования (накатывания резьбы).

Одним из мировых лидеров в области моделирования процессов обработки давлением и резанием является DEFORM. Программный пакет DEFORM позволяет создавать модели деформирования практически любой сложности, задавать граничные условия, переразбивать конечноэлементную сетку и представлять полученные результаты в числовом и графическом виде для любой точки модели в любой момент нагружения. Программный пакет DEFORM имеет удобный интерфейс и необходимые для исследования функции. DEFORM позволяет построить модели напряжений, деформаций, радиальной силы и различных критериев раз-

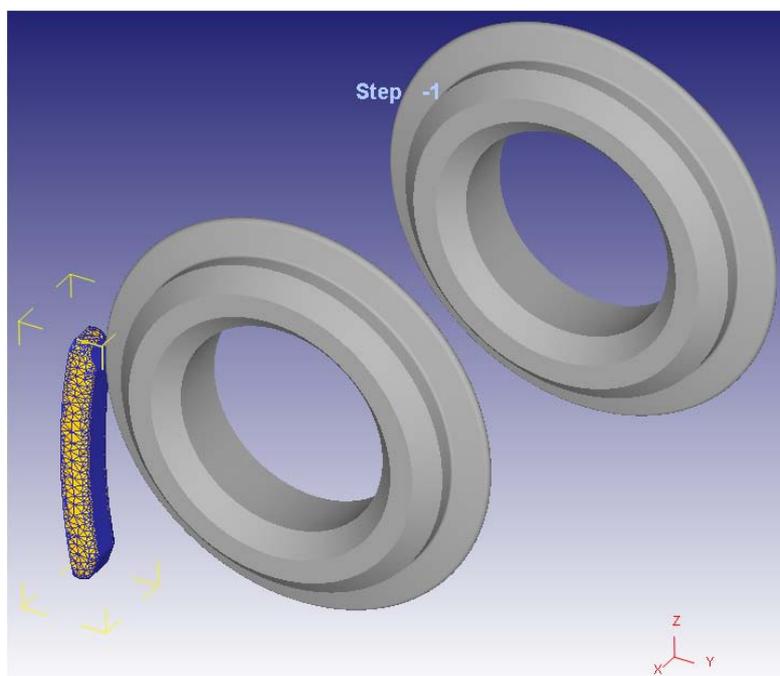
рушения в инструменте и заготовке, с помощью которых можно выявить степень и характер влияния исследуемых факторов на процесс накатывания.

Данный программный продукт позволяет:

- Моделировать сложные трехмерные процессы пластической деформации и разрушения материалов.
- Наличие специальных встроенных модулей позволяет изучать напряженно-деформированное состояние как инструмента, так и заготовки, что важно для моделирования процесса резбонакатывания.
- Использование многоинструментной обработки.
- Инструменту задается 2 вращательных.
- Гибкие условия для разбивки заготовки на конечные элементы (весовые коэффициенты, которые позволяют в отдельных местах заготовки делать сетку конечных элементов плотнее или реже).

Схема моделирования накатывания внутренних трапецидальных резьб (Рис. 2) представляет собой последовательное раскатывание канавки резьбы двумя роликами с различными геометрическими параметрами.

Для проверки была выбрана полнопрофильная схема деформирования как наиболее простая. Данная схема нашла применение при накатывании в заготовках из высокопластичных металлов и сплавов (алюминий и сплавы на его основе, латунь и т.д.).



*Рисунок 2 – Конечно-элементная модель накатывания внутренних трапецидальных резьб*

Моделирование накатывания производилось на сегменте 1/8 заготовки для уменьшения размеров элементов и сокращения их числа. Для сгущения сетки в зоне деформирования были построены окна плотности, что также способствует сокращению времени расчета.

Для подтверждения адекватности расчетных данных по напряженно-деформированному состоянию инструмента и заготовки, полученных путем моделирования процесса накатывания в системе Deform предполагается использовать тензометрическую экспериментальную резбонакатную головку, которая позволяет измерять силы деформирования, возникающие в процессе накатывания резьбы.

Анализируя модель, мы можем определить тангенциальную  $F_\tau$  (рис. 3) и радиальную  $F_R$  составляющую (рис. 4) полной силы  $F$  деформирования. Результирующая полная сила деформирования находится как векторная сумма тангенциальной и радиальной сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_\tau + \vec{F}_R$$

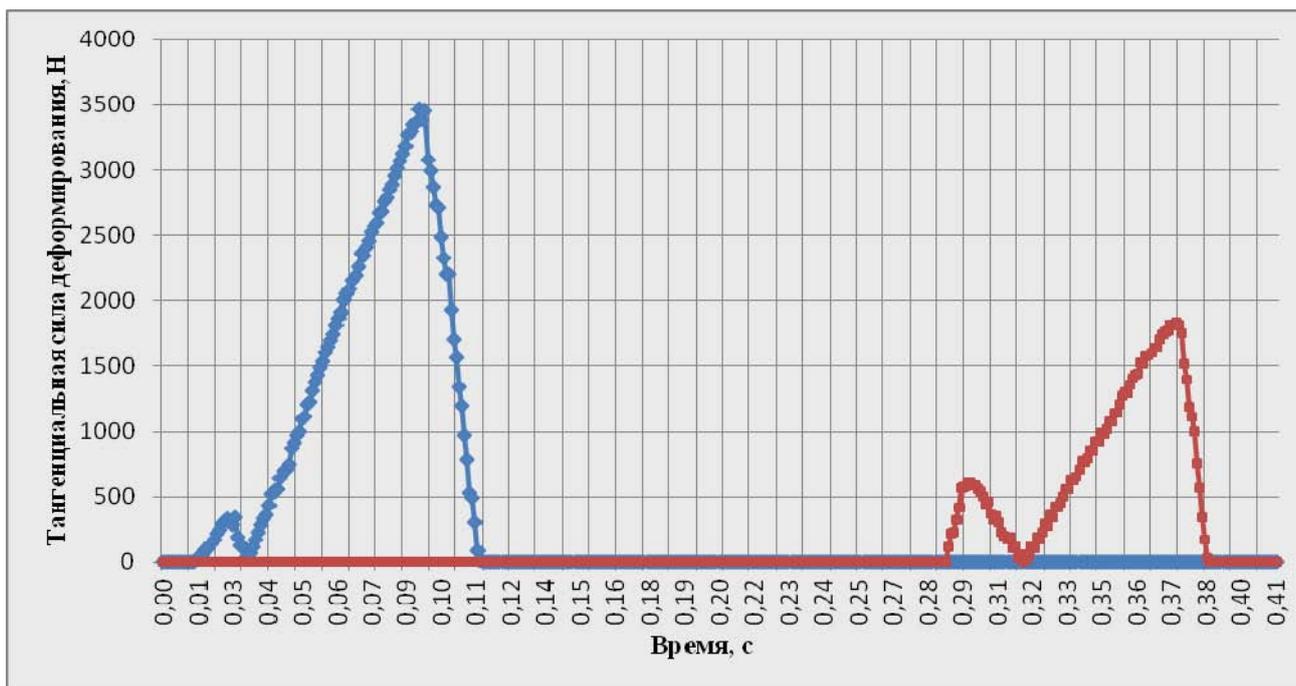


Рисунок 3 – График зависимости тангенциальной силы деформирования от времени при моделировании накатывания с полнопрофильной схемой деформирования внутренней трапецидальной резьбы

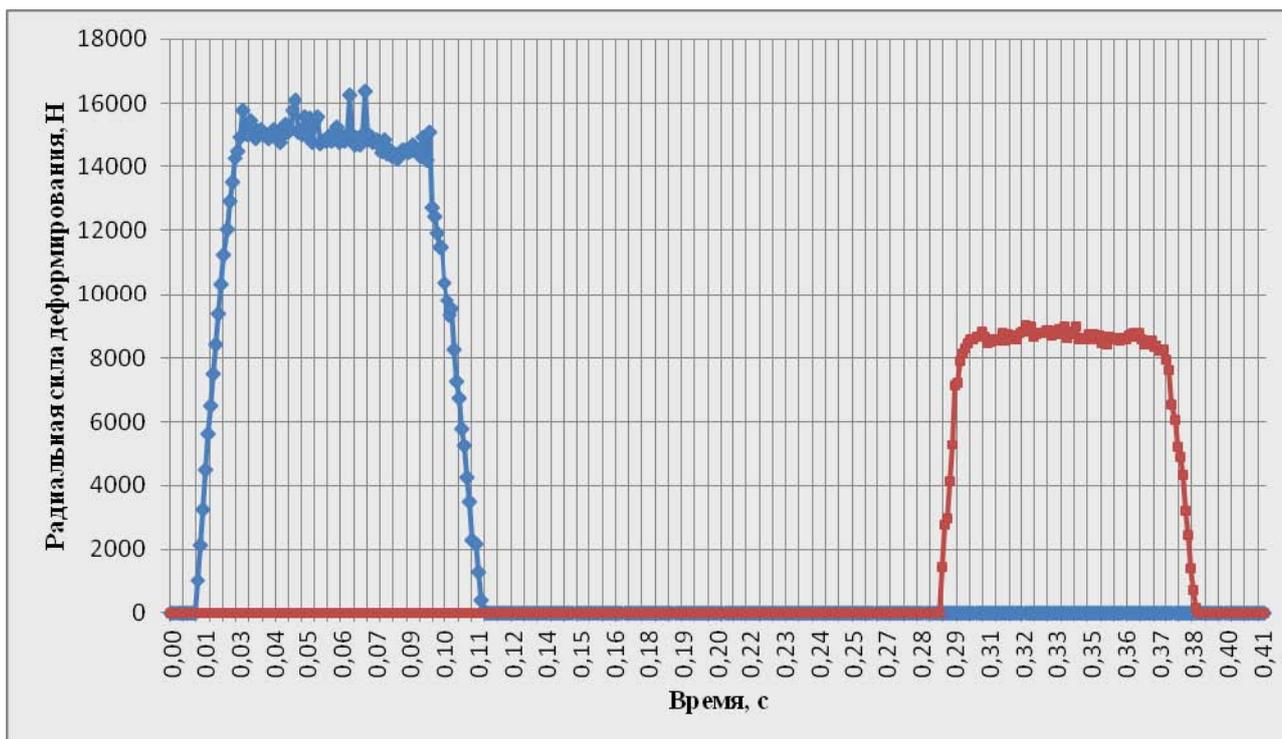


Рисунок 4 – График зависимости радиальной силы деформирования от времени при моделировании накатывания с полнопрофильной схемой деформирования внутренней трапецидальной резьбы

Построенные в результате моделирования поля напряжений, деформаций и нормализованного критерия разрушения Кокрофта-Лейтема приведены на рисунке 5.

В результате численного моделирования течения металла при накатывании с полнопрофильной схемой деформирования внутренней трапецидальной резьбы в заготовке диаметром 195мм были получены следующие силы деформирования (табл. 1).

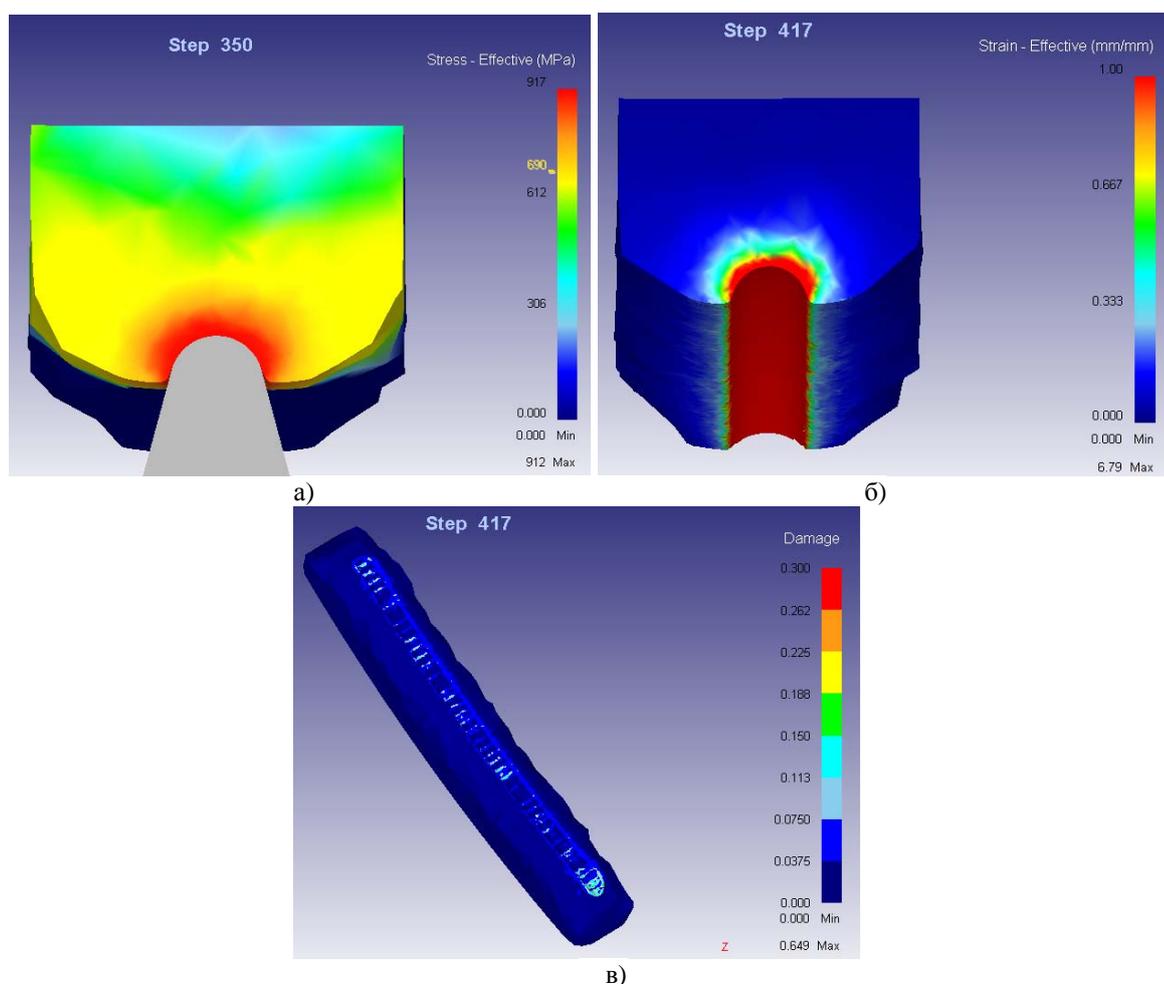


Рисунок 5 – Результаты моделирования накатывания трапецидальной резьбы  
 а) эквивалентные поля напряжений б) поля деформаций  
 в) поля нормализованного критерия разрушения Кокрофта-Лейтема

Таблица 1 – Результаты моделирования при накатывании с полнопрофильной схемой деформирования внутренней трапецидальной резьбы

Радиус при вершине витка, мм	Текущее радиальное обжатие 1-го витка, мм	Текущее радиальное обжатие 2-го витка, мм	Угол профиля резьбы	Сила деформирования, Н
0,25	0,20	0,10	30	6 873
0,75	0,20	0,10	90	16 799
0,25	0,50	0,10	90	19 828
0,75	0,50	0,10	30	24 037
0,25	0,20	0,25	90	12 837
0,75	0,20	0,25	30	20 398
0,25	0,50	0,25	30	14 219
0,75	0,50	0,25	90	30 860
0,804	0,35	0,175	60	41 761
0,196	0,35	0,175	60	11 045
0,5	0,532	0,175	60	22 688
0,5	0,168	0,175	60	12 637
0,5	0,35	0,266	60	22 303
0,5	0,35	0,084	60	18 015
0,5	0,35	0,175	60	20 249

В результате исследования выяснено что на результирующую силу деформирования наибольшее влияние оказывает радиус при вершине витка. Это подтверждается известными натурными экспериментами [3, 4]. При увеличении радиуса при вершине витка с 0,25 до 0,75 сила деформирования увеличилась втрое. Второе по степени влияния воздействие оказывает радиальное обжатие. С помощью данной модели можно выяснить степень влияния радиального обжатия и оценить величину нагруженности заборной части резьбонакатных роликов. На основании этого можно сделать выводы о рациональности распределения нагрузки при проектировании прогрессивных конструкций заборной части резьбонакатных роликов.

Данная методика позволит определить границы использования накатывания для образования внутренних трапецеидальных резьб, а также позволит определить рациональный диапазон применения режущо-деформирующей обработки с целью снижения критерия Кокрофта-Лейтема для припятствия возможному разрушению заготовки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и администрации Орловской области.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Афонин, А.Н. Схемы деформирования при накатывании резьб [Текст] / А.Н. Афонин, А.В.Киричек // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2009, № 6/278(577). - С. 39-42.
2. Железков, О.С. Особенности горячей накатки резьбы на путевых шурупах тремя роликами [Текст] / О.С. Железков, С.О. Железков, В.В. Семашко / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2011. № 3. - С. 31-33.
3. Киричек, А.В. Резьбонакатывание. Библиотека технолога / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. - М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
4. Рыжов, Э.В. Раскатывание резьб [Текст] / Э.В. Рыжов, Е.С. Пуховский, С.С. Добрянский. - М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
5. Саввин, В.В. Моделирование накатывания внутренних трапецеидальных резьб методом конечных элементов [Текст] / В.В. Саввин, А.В Киричек, А.Н Афонин *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2012, № 2-6(292). – С. 106 - 111.
6. Якухин, В.Г. Изготовление резьб. Справочник / В.Г. Якухин, В.А. Ставров. – М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.

#### **Саввин Вячеслав Викторович**

Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Аспирант кафедры ТМиКТИ  
Тел. (4862) 541503  
E-mail: savvin@email.ru

#### **Киричек Андрей Викторович**

Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
д.т.н., профессор кафедры ТМиКТИ  
Тел. (4862) 555524  
E-mail: avk@ostu.ru

#### **Афонин Андрей Николаевич**

Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
д.т.н., доц., профессор кафедры ТМиКТИ  
Тел. (4862) 541503  
E-mail: af@au.ru

---

V.V. SAVVIN, A.V. KIRICHEK, A.N. AFONIN

## **SIMULATION OF ROLLING WITH FULL HEIGHT CIRCUIT INTERNAL DEFORMATION TRAPEZOIDAL THREAD FINITE ELEMENT METHOD**

*The authors developed a method of modeling internal buttress thread rolling with the help of process simulation by finite element method and system DEFORM solid modeling T-FLEX CAD*

**Key word:** *Rolling trapezoidal thread, finite element method, solid modeling, progressive deformation scheme*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Afonin, A.N. Shemy deformirovanija pri nakatyvanii rez'b [Tekst] / A.N. Afonin, A.V.Kirichek // Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii», 2009, № 6/278(577). - S. 39-42.
2. Zhelezkov, O.S. Osobennosti gorjachej nakatki rez'by na putevyh shurupah tremja rolikami [Tekst] / O.S. Zhelezkov, S.O. Zhelezkov, V.V. Semashko / Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 2011. № 3. - S. 31-33.
3. Kirichek, A.V. Rez'bonakatyvanie. Biblioteka tehnologa / A.V. Kirichek, A.N. Afonin. - M.: Mashinostroenie, 2009. – 312 s.
4. Ryzhov, Je.V. Raskatyvanie rez'b [Tekst] / Je.V. Ryzhov, E.S. Puhovskij, S.S. Dobrjanskij. - M.: Mashinostroenie, 1979. – 176 s.
5. Savvin. V.V. Modelirovanie nakatyvanija vnutrennih trapeceidal'nyh rez'b metodom konechnyh jelementov [Tekst] / V.V. Savvin, A.V Kirichek, A.N Afonin Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2012, № 2-6(292). – S. 106 - 111.
6. Jakuhin, V.G. Izgotovlenie rez'b. Spravochnik / V.G. Jakuhin, V.A. Stavrov. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 192 s.

**Savvin Vyacheslav Viktorovich**

State University-Education-Science-Production Complex, Orel  
Postgraduate of faculty «Mechanical engineering and Design-technology computer science»  
Phone. (4862)54-15-03  
E-mail: savvin@email.ru

**Kirichek Andrey Viktorovich**

State University-Education-Science-Production Complex, Orel  
Doctor technical sciences, Professor of faculty «Mechanical engineering and Design-technology computer science»  
Тел. (4862) 555524  
E-mail: avk@ostu.ru

**Afonin Andrey Nikolayevich**

State University-Education-Science-Production Complex, Orel  
Doctor technical sciences, docent.  
Professor of faculty «Mechanical engineering and Design-technology computer science»  
Phone. (4862)55-55-24  
E-mail: af@au.ru

УДК 621.914

Е.А. СЫЧЕВ, А.С. ТАРАПАНОВ, А.В. ПАВЛОВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

*В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности электроэрозионной обработки при производстве штампов и пресс-форм. Осуществлен анализ современного станочного оборудования и инструмента. Приводятся данные и направления эффективного развития обработки деталей сложной формы.*

**Ключевые слова:** графит, электрод-инструмент, копировально-прошивные станки.

Рабочим инструментом в копировально-прошивочных станках является электрод, выполненный в соответствии с конфигурацией детали из меди, графита, вольфрама и его сплавов с медью или серебром.

Необходимо отметить несколько основных достоинств графита:

- высокая температура деструкции (более 5000°C);
- низкая стоимость по сравнению с медью (в 10-15 раз);
- малый вес;
- легкая обрабатываемость (более высокая скорость черновой обработки детали при более низкой шероховатости образующейся поверхности детали);
- небольшой относительный износ (особенно при черновой обработке детали);
- низкий коэффициент температурного расширения (в 3 раза меньше, чем у меди), что гарантирует стабильность геометрии электрода в процессе применения.

Несмотря на получаемую шероховатость при обработки графитовыми электродами, большую чем при обработками медными электродами, имеет ряд преимуществ, таких как более высокое удельное электро-сопротивление, обрабатываемость и стоимость, что значительно снижает затраты на изготовление электродов при лучших технических характеристиках получаемого электрода.

Широкой популярностью для электроэрозионной обработки пользуются графиты, применяемые при производстве штампов и пресс-форм, а также при обработке различных труднообрабатываемых сплавов (рис. 1).

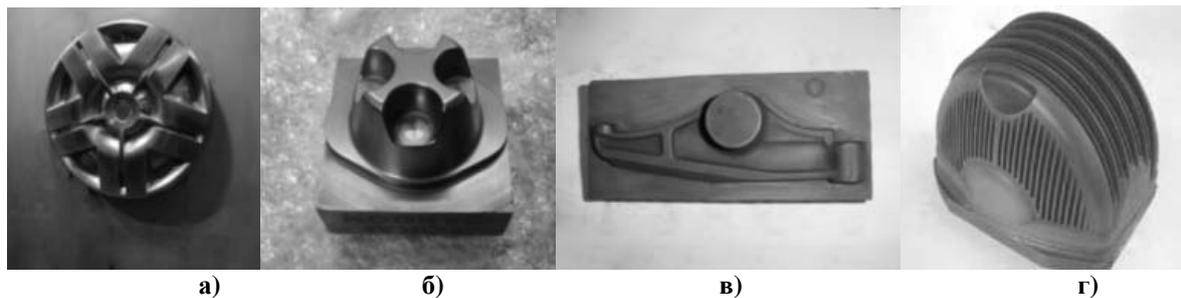


Рисунок 1 – Электроды марки Tokai Carbon для формовки (а), объемной штамповки и пресс-форм (б, в), для сверхточного прессования (г)

При выборе марки графита для электроэрозионной обработки необходим учёт многих факторов, таких как: размеры и конфигурация обрабатываемого изделия, параметры электроэрозионного станка.

Наиболее известными фирмами, производящими марки электроэрозионного графита, являются Peco graphite (Швейцария), Ividen Co, Ltd, (Япония), Tokai Carbon, Ltd, (Япония), МПГ (Россия), Mersen (США), SGL Carbon (Германия) и т.д.

Мелкозернистые графиты марок МПГ-6, 7, 8, являются высокопрочными термически-стойкими материалами на основе коксо-пековых композиций с плотностью от 1,65 до 1,85 г/см<sup>3</sup>, которые в основном используются для электроэрозионной промышленности. Общие сравнительные характеристики марок графита приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры графитовых электродов Российских производителей

Марка графита	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельное электро-сопротивление, Ом. мм <sup>2</sup> /м	Предел прочности на изгиб, кгс/см <sup>2</sup>	Макс. типоразмеры, мм
МПГ-6	1,65	15	350	170x140x80
МПГ-7	1,7	18	350	220x220x110
МПГ-8	1,85	19	460	220x220x110

При выборе графита руководствуются параметрами плотности, прочностью на изгиб (эти параметры влияют на точность) и удельным электро-сопротивлением (меньшее рассеяние электромагнитной энергии). Так для черновой обработки деталей лучше выбрать графит МПГ-6 с прочностью на изгиб 350 кгс/см<sup>2</sup>, а для чистовой обработки графит МПГ-8 с прочностью - 460 кгс/см<sup>2</sup>.

Общие электротехнические характеристики графита марки Tokai Carbon приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики графита марки Tokai Carbon.

Марка графита	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельное электро-сопротивление, Ом. мм <sup>2</sup> /м	Предел прочности на изгиб, кгс/см <sup>2</sup>	Макс. типоразмеры, мм
НК-3	1,84	15,5	900	100x310x46
НК-75	1,82	14,5	670	215x590x740
НК-2	1,82	13,5	650	215x590x740

Графит марки НК-3 позволяет получить шероховатость обрабатываемой детали 0,6 Ra и является наиболее применяемым для чистовой электроэрозионной обработки. [1]

Профильный графитовый электрод на производстве чаще всего изготавливают фрезерованием. Однако фрезерная обработка графита имеет ряд особенностей, которые препятствуют использованию для этого традиционного оборудования такого, как трехкоординатный фрезерный центр с ЧПУ. Часто обработка графита требует установки дополнительного оборудования в рабочую зону станка и дополнительных поворотных столов из-за сложности геометрии изготавливаемых деталей. Поэтому актуальной является задача разработки современных фрезерных центров для обработки графита с дополнительными степенями свободы[2].

Обработка графита прежде всего характеризуется:

- быстрым износом режущих кромок инструмента в следствии абразивных свойств графита;
- образованием большого количества графитовой пыли (размер пылеобразных частиц 10÷130 мкм);
- затруднениями при обработке с использованием масляного тумана, из-за налипания пылеобразного отхода в смеси с каплями масла на обрабатываемую заготовку (что может привести к деформациям и поломке инструмента);
- невозможностью использования смазочно-охлаждающей жидкости, так как графит может поглощать влагу, что приводит к изменениям его геометрических и механических свойств. [2]

Копировально-прошивочные станки используются для высокоточного изготовления деталей объемной формы. Станки незаменимы для обработки глухих, сквозных, угловых пазов сложной формы в сложнообрабатываемых материалах и труднодоступных местах.

Наиболее известными фирмами, производящими копировально-прошивочные станки, являются GF AgieCharmilles (Швейцария), EXERON, OPS-INGERSOLL Funkenerosionstechnik GmbH, Heun GmbH, Zimmer + Kreim GmbH & Co. KG, Knuth Werkzeugmaschinen GmbH и ELOTHERM (Германия), ONA electroerosion, CDM Rovella S. p. A. (Испания) [3], JSEDM —

Jiann Sheng Machinery & Electric Industrial Co., Joemars Machinery & Electric Industrial Co (Тайвань), Makino Milling Machine Co., FANUC Ltd, Mitsubishi Electric Co. Hitachi Ltd (Япония) [3].

Копировально-прошивочные станки фирмы Sodick оснащены мультипроцессорными компьютерными ЧПУ- генераторами (КЧПУ генераторами) серии LN/LQ с максимальным током 40, 80, 160, 240 А. Базовый генератор обеспечивает максимальную производительность до 600 мм<sup>3</sup>/мин при обработке стали графитовым инструментом. Имеются функции: функция чистовой обработки (зеркальное выхаживание, Ra = 0,06 мкм) без замены диэлектрика или в специальном диэлектрике; функция Pikagen pulse обеспечивает пониженный износ электродов-инструментов (ЭИ); функция MAP11 – оптимизацию параметров режима по мере изменения геометрии межэлектродного промежутка. Используется объектно-ориентированная 3D CAD-CAM система сквозного проектирования. Линейные двигатели привода осей и высокоточные датчики линейного положения обеспечивают точность позиционирования ± 0,01 мкм. Достижимая точность обработки по стандартной технологии фирмы составляет от ± 1,5 до ± 5 мкм на 300 мм длины в зависимости от модели станка.[4]

Станки фирмы SODICK моделей AG40L/AG60L (рис. 2) соединяют в себе высокую жесткость и технологические возможности полноценного электроэрозионного станка. Станок модели AG40L применим при точности обработки ±2,5 мкм и максимальной массе заготовки 550 кг. Станок модели AG60L в этом плане более универсален. Максимальный средний ток генератора LN2, установленного на этих моделях, составляет 40 А. Максимальная скорость съема (графит-сталь) с генератором LN2 составляет 600 мм<sup>3</sup>/мин.[5]



Рисунок 2 – Копировально-прошивочные станки фирмы SODICK моделей AG40L/AG60L

Станок модели AG100L (рис. 3) является новейшей серией копировально-прошивочных станков с ЧПУ. Сверхжесткая станина обеспечивает высокую точность и стабильность обработки.



Рисунок 3 – Копировально-прошивочный станок фирмы SODICK модели AG100L

Максимальный средний ток генератора LN2, установленного на этой модели, составляет 80 А. Этот станок применяется для прецизионной обработки крупногабаритных деталей массой до 5000 кг

Применение линейных шаговых приводов позволило повысить точность обработки  $\pm 2,5$  мкм, существенно уменьшив время обработки и износ инструмента за счет высокой скорости сервоподач линейных серводвигателей до 6000 мм/мин.

Эффективность применения графитовых электродов при электроэрозионной обработке деталей сложной конфигурации обусловлена сравнительно малыми расходами на эксплуатацию инструмента, которые объясняются относительной дешевизной графита при достаточно высокой формостойкости. Одновременно совершенствование мультипроцессорного компьютерного ЧПУ-генератора позволяет усилить этот эффект благодаря появлению новых функций связанных с минимизацией углеродосодержащего слоя под номинальной поверхностью детали и новым технологиям проочки диэлектрической жидкости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Графиты для электроэрозионной обработки металлов: сайт. Москва, URL: [http://www.agcarbon.com/electro\\_eroz.html](http://www.agcarbon.com/electro_eroz.html) (дата обращения: 5.12.2012).
2. Окунькова, А.А. Особенности изготовления графитовых электродов для операции электроэрозионной обработки сложнопрофильных высокоточных деталей / А.А. Окунькова, П.Ю. Перетягин // Машиностроение – традиции и инновации. Сборник докладов. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011. - С. 16-18
3. Павлов, А.В. Перспективы повышения эффективности электроэрозионной обработки деталей большой толщины и сложной конфигурации / А.В. Павлов, Е.А. Сычев, А.С. Тарапанов // Высокие технологии в машиностроении. Международная научно-техническая конференция. – М.: КГУ, 2012.
4. Саушкин, Б.П. Электроэрозионная обработка: состояние и перспективы / Б.П. Саушкин // Ремонт Инновации Технологии Модернизация. - 2012. - № 76. - С. 16-20
5. ЭИ координатно-прошивочные установки: сайт. Москва, 2011. URL: <http://www.sodick.ru/edw.html> (дата обращения: 2.12.2012).

**Сычев Евгений Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет — УНПК» г.Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел: 8-920-812-57-15

E-mail: lastsea@mail.ru

**Тарапанов Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет — УНПК» г.Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел:(4862)48-18-84

E-mail: tarapanov@yandex.ru

**Павлов Анатолий Витальевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет — УНПК» г.Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел: 8-960-641-00-00

E-mail: wwwanatomy@gmail.com

---

E.A.SYCHEV, A.V. PAVLOV, A.S.TARAPANOV

## IMPROVEMENT OF ELECTROEROSIVE PROCESSING OF DETAILS OF THE DIFFICULT CONFIGURATION

*In article it is considered questions of increase of efficiency of electroerosive processing by production of stamps and compression molds. The analysis of the modern machine equipment and the tool is carried out. Data and the directions of effective development of processing of details of a difficult form are provided.*

**Keywords:** *graphite, electrode tool, die sinking EDM.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Grafity dlja jelektroerozionnoj obrabotki metallov: sajt. Moskva, URL: [http://www.agcarbon.com/electro\\_eroz.html](http://www.agcarbon.com/electro_eroz.html) (data obrashhenija: 5.12.2012).
2. Okun'kova, A.A. Osobennosti izgotovlenija grafitovyh jelektrodov dlja operacii jelektroerozionnoj obrabotki slozhnopofil'nyh vysokotochnyh detalej / A.A. Okun'kova, P.Ju. Peretjagin // Mashinostroenie – tradicii i innovacii. Sbornik dokladov. – M.: MGTU «STANKIN», 2011. - S. 16-18
3. Pavlov, A.V. Perspektivy povyshenija jeffektivnosti jelektroerozionnoj obrabotki detalej bol'shoj tolshhiny i slozhnoj konfiguracii / A.V. Pavlov, E.A. Sychev, A.S. Tarapanov // Vysokie tehnologii v mashinostroenii. Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. – M.: KGU, 2012.
4. Saushkin, B.P. Jelektroerozionnaja obrabotka: sostojanie i perspektivy / B.P. Saushkin // Remont Innovacii Tehnologii Modernizacija. - 2012. - № 76. - S. 16-20
5. JeI koordinatno-proshivochnye ustanovki: sajt. Moskva, 2011. URL: <http://www.sodick.ru/edw.html> (data obrashhenija: 2.12.2012).

**Sychev Evgeniy Alexandrovich**

State University – ESPC

post-graduate student, chair «Mechanical engineering and design-engineering informatics», Orel

Tel: 8-920-812-57-15

E-mail: lastsea@mail.ru

**Tarapanov Alexander Sergeevich**

State University – ESPC

Doctor of technical sciences, professor chair «Mechanical engineering and design-engineering informatics», Orel

Tel: (4862)48-18-84

E-mail: tarapanov@yandex.ru

**Pavlov Anatoly Vitalyevich**

State University – ESPC

post-graduate student, chair «Mechanical engineering and design-engineering informatics», Orel

Tel: 8-960-641-00-00

E-mail: wwwanatoly@gmail.com

УДК 621.99

У. ХАСЬЯНОВ, А.Ю. АЛБАГАЧИЕВ, Д.У. ХАСЬЯНОВА

## ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ С ЭПФ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗЪЕМОВ

*В работе приведен анализ повышения технологичности конструкций электрических разъемов при использовании материалов с эффектом памяти формы.*

**Ключевые слова:** эффект памяти формы, штепсельный разъем, электрическое сопротивление, разъёмные электрические контакты.

Переходное электрическое сопротивление - одно из основных физических характеристик, определяющих надежность разъёмных электрических контактов. Величина эффективной контактной поверхности является функцией физических и химических свойств микрорельефа поверхности и механической нагрузки действующей на нее. Практически установлено, что пластический электрический контакт возникает при нагрузке поверхностей, которая составляет не менее 0,1 НВ от твердости наименее прочного из контактируемых материалов.

Нестабильность переходного сопротивления контактов для штепсельных разъёмов (ШР) зависит от воздействия вибрации, ударов, температуры, количества сочленений и контактного нажатия (нагрузки). В тоже время, усилие расчленения разъёмных контактов пропорционально контактному нажатию. Наибольшую надежность электрический контакт дает при больших контактных нажатиях, которые приводят к значительным усилиям расчленения. При определении минимального контактного нажатия необходимо выполнение следующего требования: величина контактного нажатия должна обеспечивать независимость электрических характеристик контактов от технологических факторов (отклонение геометрических размеров штырей и гнезд, упругость пружин) на весь срок эксплуатации.

Для обеспечения возможности многократного сочленения и расчленения разъёмов, а также исходя из удобства их эксплуатации, целесообразно иметь малые усилия расчленения контактов, что повышает износостойкость контактов корпусов изделий, а также уменьшает вероятность вырывов контактов из изоляторов при расчленении.

Такие противоречивые требования заставляют искать новые решения.

Уникальные свойства сплавов, обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ), позволяют сохранять предварительно деформированное состояние, восстанавливать размеры и генерировать значительные напряжения, что дает возможность использовать их в надежных и легко монтируемых конструкциях электрических разъёмов, а также других исполнительных устройствах.

Одиночные силовые разъёмы или ШР предварительно охлаждаются и без усилий осуществляется сочленение. Происходит естественный нагрев от окружающей среды и за счет генерации внутренних напряжений в элементах контакта осуществляется плотный прижим с созданием пластического контакта. Для расчленения необходимо охлаждение.

Схематическая конструкция электрического контакта, состоящего из штекера и гнезда, представлена на рисунке 1.

При охлаждении конструкции, кольцо из сплава с ЭПФ вытягивается, а при нагреве восстанавливает свои размеры. На рисунке 2 представлена конструкция гнезда (1) из материала с высокой электропроводностью, которая имеет глубокий разрез и отформована таким образом, что штекер свободно устанавливается в гнездо. Позиция (2) показывает, что кольцо из сплава с ЭПФ имеет такие размеры, что после его установки гнездо сжимается до размеров меньших диаметра штекера (позиция 3).

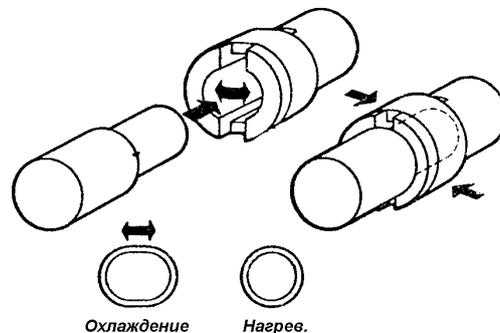


Рисунок 1 – Конструкция электрического контакта

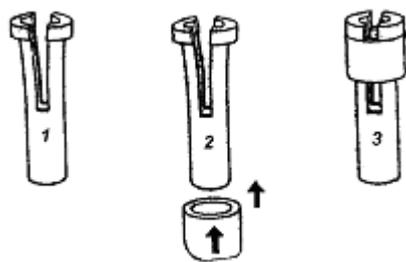


Рисунок 2 – Конструкция гнезда

от -20 до +250 °С, наиболее технологичным охладителем является фреон-22 с температурой кипения -40 °С. В этом случае кольцо из сплава с ЭПФ должно претерпевать мартенситное превращение при охлаждении до -40°С и под влиянием напряжений от стенок гнезда деформироваться, как это показано на рис.1.



Рисунок 3 – Диаграммы силовых характеристик кольца из сплава Ti-Ni

При нагреве кольцо претерпевает аустенитное превращение, восстанавливается до исходных размеров и, преодолевая сопротивление стенки гнезда, сжимается. Размеры стенок гнезда и кольца обеспечивают необходимый баланс сил: при низкой температуре усилие стенок больше, чем сопротивление кольца, а при повышении температуры сила сжатия кольца выше сопротивления стенок как это представлено на диаграмме (рис. 3).

Для эксплуатации изделий в интервале температур от -20 до +250 °С, наиболее технологичным охладителем является фреон-22 с температурой кипения -40 °С. В этом случае кольцо из сплава с ЭПФ должно претерпевать мартенситное превращение при охлаждении до -40°С и под влиянием напряжений от стенок гнезда деформироваться, как это показано на рис.1. При нагреве кольцо претерпевает аустенитное превращение, восстанавливается до исходных размеров и, преодолевая сопротивление стенки гнезда, сжимается. Размеры стенок гнезда и кольца обеспечивают необходимый баланс сил: при низкой температуре усилие стенок больше, чем сопротивление кольца, а при повышении температуры сила сжатия кольца выше сопротивления стенок как это представлено на диаграмме (рис. 3).

Развиваемое напряжение при сжатии кольца заставляет стенки гнезда прижиматься к штекеру с огромным давлением. Обычно на контактной поверхности давление превышает 700 ат. Это вызывает локальную деформацию контактируемых поверхностей, приводит к плотному контакту и способствует к «нулевому» переходному электросопротивлению.

Применение высокотемпературных многожильных электропроводов с покрытием из никеля вызывает значительные трудности при пайке, т.к. смачиваемость никеля легкоплавкими припоями ограничена и не обеспечивает надежного контакта. При нагреве, узла с паяными соединениями, до температур близких к температуре плавления припоя, возникает эффект повышения переходного сопротивления и как следствие резкого повышения температуры.

Использование механической заделки проводов исключает указанные неприятности, однако требует применения дополнительного технологического оборудования и увеличения размеров по сравнению с паяными соединениями.

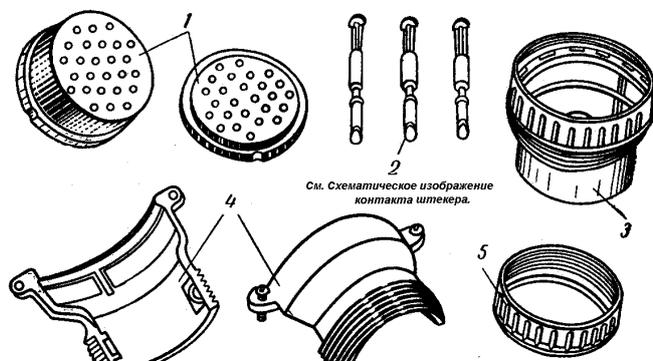


Рисунок 4 – Основные детали и узлы цилиндрических приборных разъемов

1-изоляторы; 2-контакты; 3-корпус; 4-патрубок; 5-кабельный зажим

Соединение имеет следующие преимуществами: контакт защищен от проникновения газов; не нарушается при воздействии сильного удара или вибрации; высокопрочный контакт; стабильное электрическое сопротивление и может монтироваться в труднодоступных местах.

На основании данного решения разработаны электроконтактные соединения как для силовых кабелей, так и для многоштырьковых слаботочных штепсельных разъемов (рис. 4).

На рисунке 5 схематически представлена конструкция цилиндрического контакта штекера для штепсельных разъемов.

сельных разъемов.

На позиции 1 (рис. 5) представлено конструктивное решение разрезного контакта из пружинящего (бериллиевой бронзы) материала. В неё устанавливается разрезная цилиндрическая втулка из материала с ЭПФ, которая при нагреве увеличивается в диаметре. Позиция 3 – собранное состояние; 4 – сечение в охлажденном состоянии; 5 – в условиях эксплуатации.

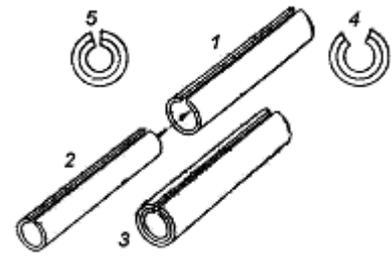


Рисунок 5 – Схематическое изображение контакта штекера

Если в конструкции, представленной на рисунке 1, деформация кольца с ЭПФ осуществляется растяжением и сжатием, а относительное перемещение не превышает 8%, то чтобы использовать более значительные перемещения, используется деформация изгиба, как это представлено на рисунке 3.

На основании комбинированной конструкции разрезного контакта изготавливаются многоштырьковые штепсельные разъемы, обладающие следующими преимуществами: [2]

- разъем перед установкой охлаждается, пружинящий контакт из бронзы сжимает внутреннюю вставку до появления зазора, что позволяет осуществлять монтаж без приложения значительных усилий;

- после нагрева до температур эксплуатации, внутренняя вставка, преодолевая сопротивление пружинящего элемента, плотно прижимается к гнезду обеспечивая плотный электрический контакт. Каждая контактируемая пара, в силовом отношении, действует независимо от соседней пары, что обеспечивает их высокую надежность.

### Соединение витых электрических проводов ЛЭП.

Данные соединения применимы как при строительстве новых линий электропередач, так и ремонте существующих. Известно, что наименьшим электрическим сопротивлением обладают чистые металлы (нелегированные и с наименьшим содержанием сопутствующих элементов). Механическая прочность чистых металлов также минимальна. Конструктивно, высоковольтный провод воздушных линий состоит из ряда тонких, свитых из чистого алюминия, проводов отличающихся малой прочностью и высокой электропроводностью. С целью повышения силовых характеристик провода и разгрузки его от механического воздействия, вводится стальной сердечник, обеспечивающий достаточную прочность на разрыв.

На мачте, при монтажных работах, соединение таких проводов вызывает определенные трудности т.к. требуется надежное соединение стальных сердечников и осуществление плотного, с минимальным переходным сопротивлением, электрического контакта. Все вышеперечисленные работы осуществляются на значительной высоте. Применение сплавов обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ) в конструкциях соединительных устройств осуществляющих соединительные действия за счет свойств памяти сплава, позволяет существенно снизить трудоемкость монтажных работ.

Конструктивно, соединительное устройство, представленное на рисунке 6, состоит из внешней алюминиевой цанговой муфты сжимаемой пружиной из сплава с ЭПФ и внутренней муфты сжимаемой кольцом из сплава с ЭПФ, соединяющей стальные стержни.

Соединительное устройство работает следующим образом - перед монтажом конструкция охлаждается ниже температуры мартенситного превращения ( $-50^{\circ}\text{C}$ ). В результате пружина, обладающая эффектом двусторонней памяти, увеличивается в диаметральном направлении, а внутренний размер алюминиевой цанги за счет эффекта пружинения возрастает до размеров  $D$ , превышающих внешний размер свитых алюминиевых проводников. Одновременно, при охлаждении внутренней конструкции, представленной на рисунке 7, в кольце установленном на поверхности разрезной стальной муфты происходят процессы, аналогичные явлениям представленным на рисунке 2. Внутренний размер цанги  $d1$  увеличивается до диаметра превышающего размеры внутреннего стержня.

Перед монтажом соединяемые провода подготавливаются так, как это представлено на рисунке 6 (для проводов) и фиксируются в приспособлении обеспечивающим их временную неподвижность. Холодное соединительное устройство устанавливается на поверхности

соединяемых проводов и за счет естественного подвода тепла, осуществляется нагрев. При температурах превышающих температур.

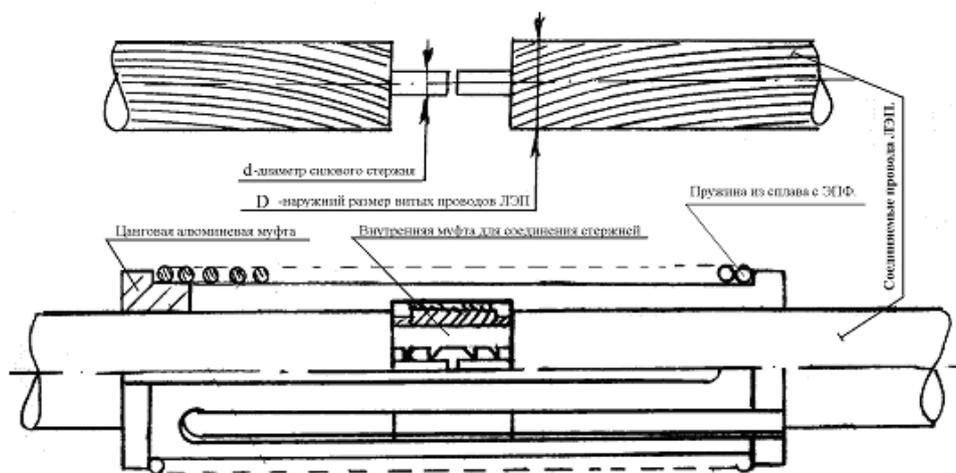


Рисунок 6 – Схема соединительного устройства

Нагрев производится за счет естественного подвода тепла. При достижении температуры выше аустенитного превращения (менее  $-30^{\circ}\text{C}$ ), кольцо из сплава с ЭПФ сжимается и деформирует цангу. В результате размер  $d_1$  уменьшается примерно на 20%, обеспечивая прочное соединение стальных сердечников.

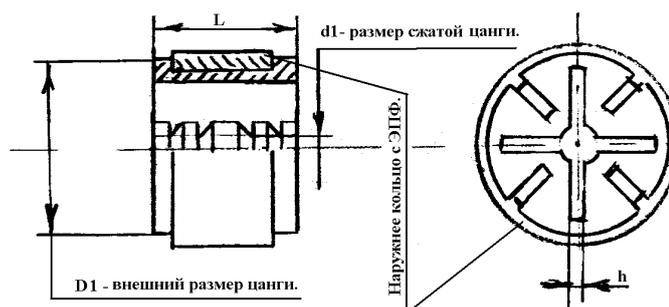


Рисунок 7 – Внутренняя конструкция соединительного устройства

Столь значительная деформация цанги по размеру  $d_1$  обеспечивается за счет соотношения размера внешнего кольца  $D$  с ЭПФ, определяемого внешним размером провода и внутреннего размера цанги, зависящего от размеров сердечника -  $D_1/d_1$ .

Внешняя пружина, находящаяся на поверхности алюминиевой цанги, при нагреве сжимает ее силой  $N$  и обеспечивает плотный электрический контакт. Схематически, воздействия витков пружины на поверхность цанги, представлены на рисунке 8.

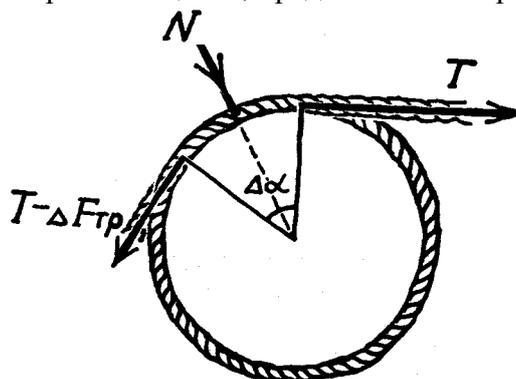


Рисунок 8 – Схема воздействия витков пружины на поверхность цанги

Пренебрегая трением, рассмотрим участок витка пружины на малом участке  $\Delta\alpha$ , находящегося под воздействием генерируемых при фазовых превращениях сил термомеханического возврата –  $\sigma_R$ . Со стороны цанги действует сила реакции  $N = \sigma_R \cdot \Delta\alpha$ , ( $\Delta\alpha$  - угол, который измеряется в радианах и считается малым, т.е.  $\Delta\alpha \approx \sin\Delta\alpha$ ). [3]

При наличии трения участок пружины будет неподвижен в том случае, когда силы натяжения слева и справа от участка  $\Delta\alpha$  несколько отличаются. Проскальзывание витка пружины начнется, когда натяжение на участке  $\Delta\alpha$  сравняется с действием сил трения покоя  $\Delta F_{mp} = \mu \cdot N = \mu \cdot T \cdot \Delta\alpha$ . Следовательно, изменение натяжения части витка составит  $\Delta T = -\mu \cdot T \cdot \Delta\alpha$ , что пропорционально напряжению  $\sigma_R$ . Эйлером было установлено, что величина усилия проскальзывания  $T$  зависит от угла охвата  $\alpha$  и уменьшается по закону  $T = T_0 \cdot e^{-\mu\alpha}$  где  $e$  - основание натурального логарифма;  $T_0$  – первоначальное натяжение;  $\alpha$ , угол зависящий от числа оборотов пружины вокруг цанги  $n$  ( $\alpha = 2\pi n$ ). Одного оборота достаточно, чтобы уменьшить напряжение проскальзывания в  $k$  раз, а в результате  $n$  оборотов величина  $k$  снижается в  $k^n = e^{2\pi n \mu}$  раз.

Если коэффициент трения будет находиться в пределах  $\mu = 0,3$ , то при одном обороте пружины, усилие проскальзывания составит 1/7, а при двух оборотах, эти усилия составят примерно 1/40 от напряжения натяжения, т.е. напряжений термомеханического возврата  $\sigma_R$ . С ростом числа оборотов усилия проскальзывания, благодаря трению, становятся все меньше и меньше и постепенно исчезают. Следовательно, второй и последующие витки пружины можно рассматривать как закрепленные на поверхности цанги, т.е. витки пружины можно рассматривать как тонкостенное кольцо, работающее так, как представлено на рисунках 1 и 2.

Конструкции, где применяются сплавы с ЭПФ в качестве исполнительных устройств, позволяют обеспечивать пластический контакт, ремонтпригодность и меньшие размеры по сравнению с традиционной механической заделкой. Таким образом, предложенное решение повышает технологичность конструкций и существенно снижает трудоемкость их изготовления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффект памяти формы в сплавах. Пер. с англ. Под редакцией В.А.Займовского. М. Металлургия. 1979. 472с.
2. Белоусов, А.К. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре / А.К. Белоусов В.С. Савченко. – М «Энергия» 1967. – 265с.
3. Силин, А.А. Трение и мы / А.А. Силин // Главная редакция физико-математической литературы. – М. «Наука» 1987. – С. 18-22.

**Албагачиев Али Юсупович**

ИМАШ РАН, Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник

**Хасьянов Усман**

ИМАШ РАН, Москва

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

**Хасьянова Динара Усмановна**

ИМАШ РАН, Москва

Научный сотрудник

---

KHASYANOV U., ALBAGACHIEV A.U, KHASYANOVA D.U

### APPLICATION OF ALLOYS WITH SHAPE MEMORY EFFECT IN THE ELECTRICAL CONNECTOR CONSTRUCTION

*The article is increased manufacturability analysis of the electrical connector construction with the using a material with shape memory effect.*

**Keywords:** *shape memory effect, plug-in connector, electrical resistance, dismountable electrical contact.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Jeffekt pamjati formy v splavah. Per. s angl. Pod redakciej V.A.Zajmovskogo. M Metallurgija. 1979. 472s.
2. Belousov, A.K. Jelektricheskie raz#emnye kontakty v radioelektronnoj apparature / A.K. Belousov V.S. Savchenko. – M «Jenergija» 1967. – 265s.
3. Silin, A.A. Trenie i my / A.A. Silin // Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury. – M. «Nauka» 1987. – S. 18-22.

**Albagachiyev Ali Yusupovich**

IMASH of RAS, Moscow

Doctor of technical Sciences, head of laboratory, chief researcher

**Hasyanov Usman**

IMASH of RAS, Moscow

Candidate of technical Sciences, senior researcher

**Hasyanova Dinara Usmanovna**

IMASH of RAS, Moscow

Researcher

Ю.Р. КОПЫЛОВ, А.С. МЕРЧАЛОВ

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИБРОУПРОЧНЯЮЩЕЙ УСТАНОВКИ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА ПРИ УПРУГОМ КРЕПЛЕНИИ ДЕТАЛИ К КОНТЕЙНЕРУ

*Для повышения прочности, надежности и долговечности крупногабаритных деталей целесообразно применение виброударного упрочнения, позволяющего получить необходимые параметры качества поверхности. Наиболее эффективны близкорезонансные режимы работы оборудования, но для их реализации необходима новая компоновка. Предлагается двухмассная система с упругим креплением детали в контейнере с целью снижения вибрационного воздействия на фундамент. В статье представлены результаты экспериментальной работы по определению динамических свойств системы: жесткости упругих элементов, собственной частоты и амплитуды колебаний.*

**Ключевые слова:** резонансный режим, вибрация, вибратор, двухмассная система.

### ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении для увеличения прочностных характеристик деталей хорошо зарекомендовал себя метод виброударного упрочнения [2]. В авиационном производстве для упрочнения крупногабаритных деталей с 60-х годов прошлого века используют установки ВУД-2500. Установки ВУД-2500 используются для виброударного упрочнения деталей длиной до 3500 мм. Они стабильны в работе, оказывают небольшое вибрационное воздействие на основание; снижают шероховатость с Ra 5-10 до 1,5-2,5 мкм, формируют в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения до 650-750 МПа и наклеп 8-15% [1].

При всех своих достоинствах эти машины нуждаются в усовершенствовании. Модернизация установок ВУД-2500 обуславливается большой мощностью привода (до 50–75 Вт на 150–200 кг массы детали) и значительной погрешностью обработки из-за ограниченного управления траекторией колебаний. Избежать этих недостатков могло бы применение новых динамических схем и режимов работы оборудования – работа в близкорезонансе. Близкорезонансные режимы обладают меньшими затратами мощности, возможностью регулирования траекторий колебаний, но оказывают большое вибрационное воздействие на основание и обладают низкой устойчивостью режима колебаний. Для применения близкорезонансных режимов необходима принципиально новая компоновка станка.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

При реализации близкорезонансных режимов работы виброобрабатывающего оборудования с жестким креплением детали в контейнере возникают большие вибрационные силовые воздействия на фундамент. При этом близкорезонансные режимы работы имеют малую динамическую устойчивость. В настоящей работе упрочняемую деталь предлагается закреплять к контейнеру на подвижной системе с вибратором, которая посредством упругих элементов закрепляется к контейнеру. В этом случае подвижная система образует двухмассную динамическую схему с улучшенной виброизоляцией. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований динамики виброупрочняющего станка ВУРТ-3М построенного по двухмассной динамической схеме (рис. 1).

При этом, как и в одномассных машинах, работа в резонансном или околорезонансном режиме обеспечивает хорошие коэффициенты усиления вынуждающей силы [3]. Первой массой выступает деталь, на подвижной системе 3 которой установлен вибратор. Вторая масса не оказывает существенного влияния на увеличение общего веса подвижной системы детали и может использоваться в качестве рабочего органа, в данном случае в качестве контейнера 2 с инструментальной средой 7. Деталь совершает колебания с виброускорением 6-10g, а контейнер за счет реакций перемещений жестких упругих элементов совершает менее интенсивные, но достаточные для придания инструментальной среде вибропластичности, подвижности, энергетических и других свойств, колебания с ускорением 3-5g [4].

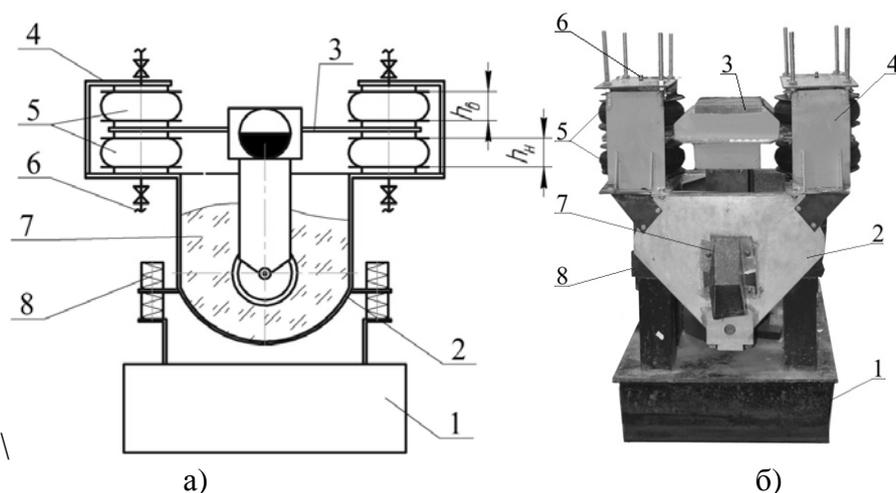


Рисунок 1 – Общий вид двухмасснойвиброустановки с упругим креплением детали  
а) схема экспериментальной установки; б) установка ВУРТ-3М

### ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИБОРОВ

Для определения динамики движения контейнера, детали и основания проведен эксперимент, который заключался в ступенчатом регулировании жесткости пневмоупругих элементов 5 (ПУЭ) типа И-15, за счет регулирующей системы 4 и последующем плавном изменении давления воздуха внутри них, посредством пневмосистемы 6. Ступенчатое регулирование осуществлялось путем сжатия ПУЭ на высоты: 1) высота верхнего  $h_г = 95$  мм, нижнего  $h_н = 85$  мм; 2)  $h_г = 78$  мм и  $h_н = 67$  мм; 3)  $h_г = 83$  мм и  $h_н = 78$  мм; 4)  $h_г = 65$  мм и  $h_н = 60$  мм. На каждом поджатии давление менялось от 0 до 0,4 МПа. Жесткость упругих элементов 8 контейнера во всех случаях оставалась постоянной. Для возбуждения колебаний подвижной системы детали использовался дебалансный мотор-вибратор ЭВ320-4 с постоянной частотой вращения 1500 об/мин. Датчиками, установленным по двум осям X и Y на контейнере, детали и основании станка снималась амплитуда виброускорения  $A\omega^2$ . Данные с датчиков обрабатывались на компьютере.

Подвижная система контейнера  $m_1$  имеет массу 24,3 кг. Подвижная система детали с вибратором  $m_2$  имеет массу 15,25 кг. Масса инструментальной среды  $m_3 = 30$  кг, металлические шарики ШХ15 диаметром 4 мм.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

**Характеристики упругих элементов.** Была произведена серия экспериментов по измерению продольной жесткости ПУЭ  $G_y$ , в ходе которых жесткость измерялась как зависимость сила-перемещение. На рисунке 2 приведены данные для двух случаев поджатия.

Из рисунка 2 видно, что ПУЭ обладают слабой нелинейностью. Величина поджатия наиболее значительно влияет на жесткость за счет увеличения площади опорной поверхности прижимного кольца. При этом жесткость  $G_y$  прямо пропорциональна давлению  $P$ , площади  $S_k$  опорной поверхности прижимного кольца. При малой площади  $S_k$  повышение  $G_y$  при сжатии происходит за счет роста давления в полости ПУЭ, при закрытом пневмопроводе. При больших поджатиях ПУЭ происходит интенсивный рост площади опорной поверхности. В результате чего жесткость  $G_y$  приобретает жесткий нелинейный характер. На рисунке 2 пунктирной линией показано для сравнения значение жесткости  $G_k$  упругих элементов контейнера (рис. 1, позиция 8). На протяжении всех экспериментов  $G_k$  оставалась постоянной на уровне  $G_k = 289$  кг/см.

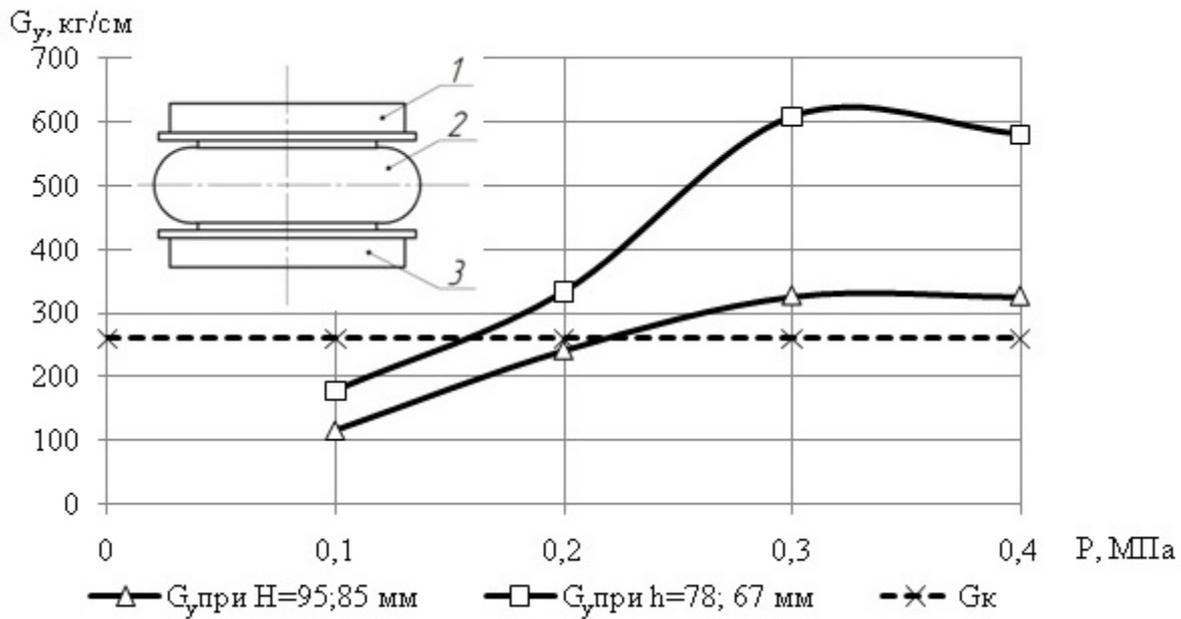


Рисунок 2 – Зависимость жесткости  $G_y$  пневмоупругих элементов от давления  $P$ , МПа

1, 3 – опорное прижимное кольцо; 2 – резинокордная оболочка.

В [1] приведены значения безразмерного коэффициента рассеяния энергии  $\Psi$  для пневмоупругих элементов И-15 (табл. 1). С увеличением  $P$  значения  $\Psi$  уменьшается по степенной зависимости. Это объясняется перераспределением доли воспринимаемой динамической нагрузки с резинокордной пневмооболочки на объем воздуха внутри нее, обладающего меньшей диссипацией.

Таблица 1 – Характеристики коэффициента рассеивания энергии  $\Psi$  от давления  $P$  при поджатии ПУЭ верхнего  $h_b = 95$  мм, нижнего  $h_n = 85$  мм.

$P$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,3	0,4
$\Psi$	0,25	0,125	0,065	0,042

**Собственная частота подвижной системы.** Был проведен эксперимент по изучению собственной частоты  $\omega_0$  подвижной системы детали на различных поджатиях при заданном давлении для трех случаев (рис. 3):

- 1) исследовалась собственная частота  $\omega_0$  подвижной системы детали при жестко закрепленных упругих элементах контейнера (на графике сокращенно ПСД);
- 2) исследовалась собственная частота  $\omega_0$  подвижной системы детали с контейнером (упругие элементы контейнера в свободном положении), но без инструментальной среды (на графике сокращенно ПСД+КОН);
- 3) исследовалась собственная частота  $\omega_0$  подвижной системы детали с контейнером (упругие элементы контейнера в свободном положении), с засыпанной в него инструментальной средой  $m_3 = 30$  кг (на графике сокращенно ПСД+КОН+ИС).

Из графика на рисунке 3 видно, что увеличение массы контейнера за счет засыпания средой ведет к увеличению крутизны кривой собственной частоты  $\omega_0$ . Эти данные позволяют напрямую соотнести амплитудные характеристики режимов работы и жесткость упругих элементов вибростанка с его частотными параметрами.

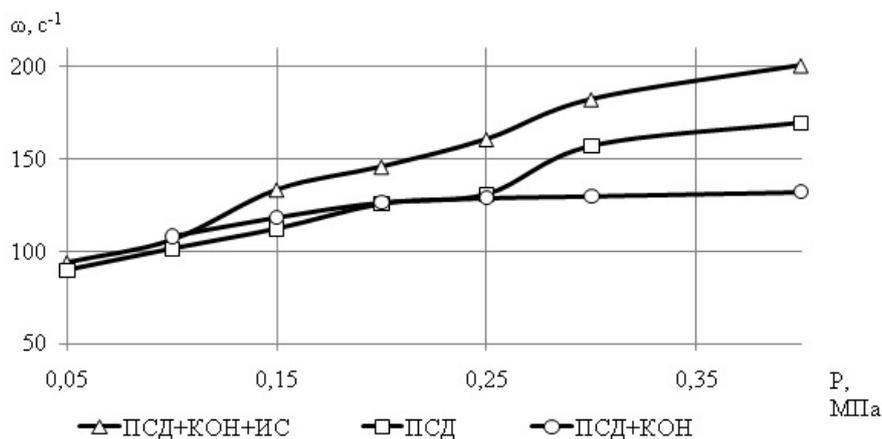


Рисунок 3 – График зависимости собственной частоты от давления  $P$  при поджатии ПУЭ верхнего  $h_8 = 95$  мм, нижнего  $h_H = 85$  мм для трех случаев

На рисунке 4 изображены графики амплитуд контейнера и детали в зависимости от давления  $P$ . Рассматривается два случая: амплитуда детали  $A_D$  и амплитуда контейнера  $A_K$  со средой  $m_3 = 30$  кг (на графике обозначены сплошными линиями) и  $A_D$  и  $A_K$  без среды (на графике обозначены прерывистыми линиями). С увеличением давления  $P$  амплитуда колебаний детали повышается в начале слабо, при приближении к резонансной частоте амплитуда увеличивается интенсивней, аналогично ведет себя амплитуда контейнера.

На графике видно, что увеличение массы контейнера ведет к уменьшению величины амплитуды и смещения резонансной области к уменьшению давления  $P$ .

Для определения режимов работы станка при условиях, провозглашенных рисунке 4 используем данные на рисунках 2 – 3.

В теории колебаний используется следующее определение режимов колебаний:  $\omega < \omega_0$  – режим колебаний дорезонансный;  $\omega > \omega_0$  – режим колебаний за резонансный;  $\omega = \omega_0$  – резонансный режим.

Принимая резонансную область колебаний для случая с заполнением контейнера средой в диапазоне давлений 0,22–0,25 МПа, как участок с максимальными амплитудами. Частота вращения мотор-вибратора 1500 об/мин, что при переводе в угловую частоту соответствует  $\omega = 157 c^{-1}$ . В диапазоне давлений от 0 до 0,22 МПа наблюдается за резонансный режим, а на участке 0,25 – 0,4 МПа имеет место до резонансный режим.

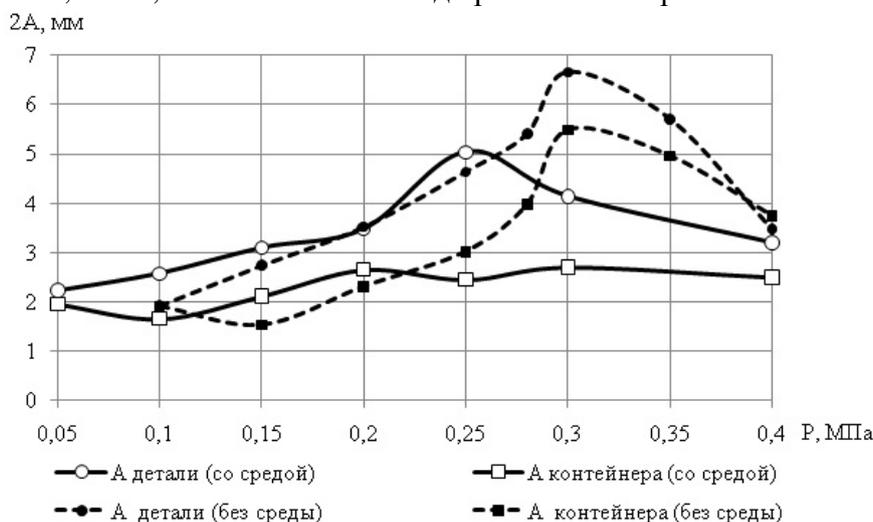


Рисунок 4 – График амплитуды колебаний полученный в ходе эксперимента при поджатии ПУЭ верхнего  $h_8 = 95$  мм, нижнего  $h_H = 85$  мм

## ВЫВОДЫ

Увеличение массы инструментальной среды в контейнере ведет к уменьшению величины амплитуды колебаний детали и контейнера и увеличению собственной частоты колебаний.

Ступенчатое изменение поджатия пневмоупругих элементов и плавное изменение давления в них позволяет регулировать амплитуду и форму траектории колебаний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов, Ю.Р. Виброударное упрочнение / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999.–386 с.
2. Вибрации в технике: справ. изд. – в 6 т. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Г.Г. Азбель [и др.]; под ред. Э.Э. Лавендела. – М.:Машиностроение, 1981. – 509 с.
3. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка поверхностным пластическим деформированием: Справочник/ Л.Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987.–328 с.
4. Крюков, Б.И. Динамика вибрационных машин резонансного типа / Б.И. Крюков. – Киев: Наукова думка, 1967.–267 с.

### **Копылов Юрий Романович**

Воронежский государственный технический университет  
Доктор технических наук, профессор кафедры технология машиностроения  
394062. Воронеж, ул. Южно-Моравская, д. 38, кв. 99  
E-mail: urkopulov@mail.ru

### **Мерчалов Александр Сергеевич**

Воронежский государственный технический университет  
Аспирант кафедры технология машиностроения  
394062. Воронеж, ул. Ломоноова, д. 116/2, кв. 8  
E-mail: merch87@yandex.ru

JU.R. KOPYLOV, A.S. MERCHALOV

## **DYNAMIC PROPERTIES VIBRO STRENGTHENING INSTALLATION OF RESONANT TYPE AT ELASTIC FASTENING OF A DETAIL IN THE CONTAINER**

*For increase of durability, reliability and durability of large-size details application of the vibroshock hardening, allowing obtaining necessary parameters of quality of a surface is offered expediently. Are effective resonant equipment operating modes, but new configuration is necessary for their realization. The two-mass system with elastic fastening of a detail in the container for the purpose of decrease in vibration impact on the base is offered. Results of experimental work on determination of dynamic properties of system are presented in article: rigidity of elastic elements, own frequency and amplitude of fluctuations.*

**Keywords:** resonant mode, vibration, vibrator, two-mass system.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Kopylov, Ju.R. Vibroudarnoe uprochnenie / Ju.R. Kopylov. – Voronezh: Voronezhskij institut MVD Rossii, 1999.–386 s.
2. Vibracii v tehnikе: sprav. izd. – v 6 t. T.4. Vibracionnye processy i mashiny / G.G. Azbel' [i dr.]; pod red. Je.Je. Lavendela. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 509 s.
3. Odincov, L.G. Uprochnenie i otdelka poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem: Spravochnik/ L.G. Odincov. – M.: Mashinostroenie, 1987.–328 s.
4. Krjukov, B.I. Dinamika vibracionnyh mashin rezonansnogo tipa / B.I. Krjukov. – Kiev: Naukova dumka, 1967.–267 s.

### **KopylovYuryRomanovich**

The Voronezh state technical university  
Dr.Sci.Tech., the professor of chair technology of mechanical engineering  
394062. Voronezh, street South Moravian, h. 38, sq. 99  
E-mail: urkopulov@mail.ru

### **Merchalov Alexander Sergeevich**

The Voronezh state technical university  
The post-graduate student of chair technology of mechanical engineering  
394062. Voronezh, street South Moravian, d. 38, sq. 99  
E-mail: merch87@yandex.ru

## **МАШИНЫ, АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

УДК 544.725:687.15

М.В. РОДИЧЕВА, А.В. АБРАМОВ, А.А. ПАВЛОВСКАЯ

### **ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ КОЛЛОИДНЫХ ПОЛОТНАХ. ЧАСТЬ II. ВЛАЖНОЕ СОСТОЯНИЕ**

*Авторами рассматриваются существующие методы оценки показателей переноса парообразной и жидкой влаги в структуре капиллярно-пористых коллоидных полотен, а также предлагаются собственные методы экспериментальных исследований ряда показателей переноса. Статья состоит из двух частей. В первой рассматриваются методы и подходы к анализу процессов переноса парообразной влаги, во второй – капельной.*

*Работа выполнена в рамках ГРАНТ № 12-08-97577 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и влагопереноса в структуре капиллярно-пористых коллоидных полотен», поддержанный Администрацией Орловской области.*

**Ключевые слова:** капиллярно-пористые коллоидные полотна, влагоперенос, потенциал влагопереноса, удельное изотермическое влагосодержание, капиллярность.

Основы теории переноса парообразной влаги в системе «капиллярно-пористое коллоидное тело - воздух» были описаны в первой части статьи. Необходимо отметить, что перенос жидкой влаги менее изучен.

По мнению Лыкова А.В., наблюдается термодинамическая аналогия между переносом тепловой энергии в структуре твердого тела и жидкой влаги в структуре капиллярно-пористого коллоидного тела.

На основе этой аналогии, А.В. Лыков вводит понятие удельной изотермической влагоемкости ( $c_m$ , г/(г·°М)), под которым понимается частная производная от удельного влагосодержания ( $u$ , г/г) по потенциалу влагопереноса ( $\Theta$ , °М) при постоянной температуре (1):

$$c_m = \left( \frac{\partial u}{\partial \Theta} \right)_T \quad (1)$$

Очевидно, что экспериментальные исследования процессов переноса влаги должны быть направлены на определение величины изменения массы тела или его удельного влагосодержания при некотором фиксированном изменении величины потенциала влагопереноса. По Лыкову А.В. такие исследования предполагают:

- по термодинамической аналогии выбор эталонного тела, построение экспериментальной шкалы потенциала влагопереноса;
- исследование процессов влагопереноса при контакте исследуемых тел с эталонным телом, для которого построена экспериментальная шкала.

В то же время, существующие методы проведения экспериментальных исследований основаны на определении движения жидкости под действием капиллярных сил. Различные методические подходы к проведению экспериментальных исследований отличаются только вариантом контакта исследуемого тела с поверхностью воды.

В первом случае контакт образца с влагой осуществляется по всей поверхности тела. Например, в схеме проведения исследований с помощью прибора Textile Research Institute in Łódź, G. Bartkowiak (рис. 1 а), исследуемый образец (поз. 1) укладывается на проницаемую гидрофобную пластину (поз. 2), через которую впитывает влагу из сосуда [6]. Изменение объема жидкости в приборе фиксируется датчиком уровня (поз. 3).

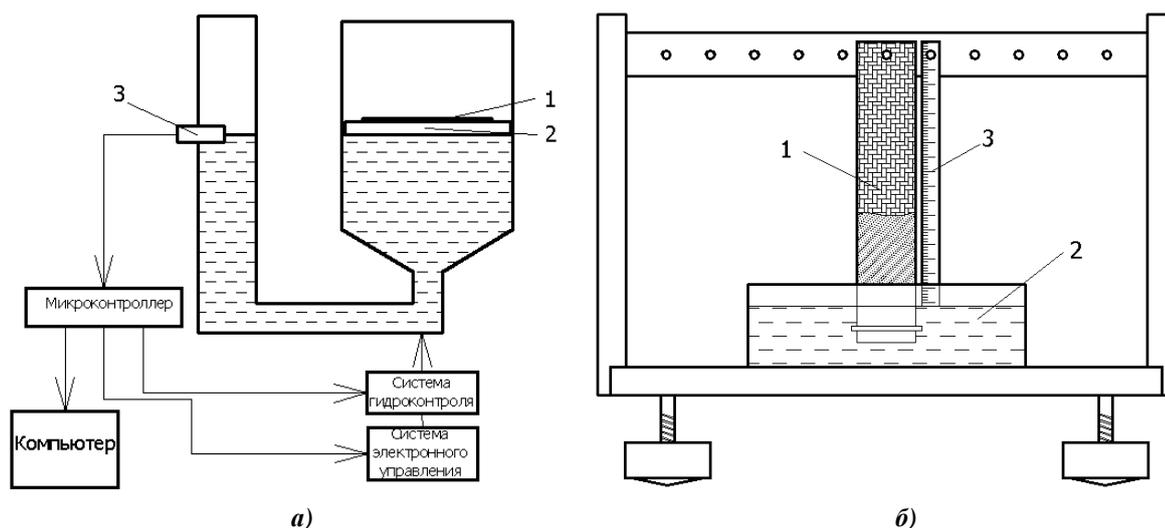


Рисунок 1 – Принципиальная схема прибора Textile Research Institute in Łódź

Во втором случае реализуется контакт текстильного полотна с жидкостью по толщине текстильного полотна. Например, метод определения капиллярности по ГОСТ 3816-81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопичности и водоотталкивающих свойств» предусматривает погружение нижнего края исследуемого образца (поз. 1) в сосуд с жидкостью (поз. 2). Считается, что контакт сухого тела с влагой осуществляется на границе раздела фаз и площадь контакта определяется параметрами толщины материала. Уровень поднятия жидкости по образцу за определенное время фиксируется посредством линейки (поз. 3), нулевое деление которой совмещено с поверхностью жидкости [2].

Основным недостатком описанных методов является ограниченное применение определяемых показателей. В отличие от величины влагосодержания, определяемой при фиксированной разности потенциалов влагопереноса, капиллярность и скорость впитывания не могут быть учтены при решении дифференциальных уравнений переноса влаги. Другим существенным недостатком является отсутствие подготовительного этапа, что делает невозможным точное определение разности потенциалов влагопереноса в начальном момент времени.

Не смотря, на эти недостатки, метод определения капиллярности активно используется в нашей стране для определения гигиенических характеристик материалов для одежды.

Обзор зарубежной литературы, также свидетельствует о многочисленных применениях метода определения капиллярности.

Так, А.В. Nyoni по показателю капиллярности исследует закономерность переноса жидкой влаги в различных искусственных материалах [8]. F. Fayala для повышения точности измерений использовала видеокамеры [5]. Полученные результаты позволяют не только определять скорость поднятия влаги по материалу, но и радиус наиболее характерных капилляров исследуемого тела, для чего предложена зависимость на основе закона Washburn.

Авторами разработана методика экспериментальных исследований, позволяющая реализовать подход Лыкова А.В. и перейти, таким образом, к исследованию более информативных характеристик [2]. Методика предполагает реализацию нескольких этапов.

На этапе построения экспериментальной шкалы потенциала влагопереноса было выбрано эталонное тело: фильтровальная бумага «белая лента», для которой введены следующие предположения:

- условный потенциал массообмена влажного тела соответствует  $100^{\circ}\text{M}$ , а абсолютно сухого –  $0^{\circ}\text{M}$ ;
- зависимость между величинами влагосодержания, удельной влагоемкости и потенциала влагопереноса для фильтровальной бумаги (2) [4]:

$$u = c_m \Theta \quad (2)$$

Был предложен алгоритм определения величины удельной влагоемкости:

- образец эталонного тела размером 20×25 мм выдерживается в дистиллированной воде с температурой 22,5°С в течении 1,5 часов в подвешенном состоянии, после чего взвешивается с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{влаж}}$ );
- образец эталонного тела выдерживается в сушильном шкафу при температуре 107±2°С в течении 2,5 часов, после чего взвешивается с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{сух}}$ ).
- удельная изотермическая влагоемкость эталонного тела вычисляется по формуле (3):

$$c_m = 0,01 \frac{m_{\text{влаж}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \quad (3)$$

Согласно результатам экспериментальных исследований удельная изотермическая влагоемкость фильтровальной бумаги «белая лента» составляет 0,025 г/г°М.

На следующем этапе авторами исследовались процессы влагопереноса при контакте эталонного тела с исследуемыми образцами капиллярно-пористых коллоидных полотен. Для этого:

- исследуемый образец, размером 70×30 мм с карандашной отметкой посередине погружается в сосуд с дистиллированной водой на время 60±1 мин. Температура воды в сосуде (по аналогии с калориметрическими опытами) 20°С;
- эталонное тело, представленное восьмью слоями фильтровальной бумаги, размером 50×50 мм, комплектуется в пачку и взвешивается с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{нач1}}$ , г);
- по истечению 60±1 мин, исследуемый образец извлекается из сосуда и подвешивается на перекладину для стекания (задавая различные промежутки времени, можно получить различное начальное влагосодержание образца);
- для обеспечения равномерного влагосодержания, от исследуемого образца отрезается нижняя часть по отметке и помещается между слоями пачки эталонного тела. Полученная массообменная система помещается в герметичный пакет малого размера известной с точностью до 0,001 г массой ( $m_{\text{нак}}$ , г);
- массообменная система взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{сист}}$ , г), после чего фиксируется грузом, массой 50 г и выдерживается в неизменных условиях в течении 60±1 мин (согласно предварительным исследованиям, за это время наступает термодинамическое равновесие в системе соприкасающихся тел);
- спустя заданный промежуток времени, массообменная система взвешивается повторно с точностью до 0,001 г. При отсутствии внешнего влагообмена, масса пачки не должна измениться;
- исследуемый образец извлекается из пачки и взвешивается с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{обр2}}$ , г);
- пустая пачка повторно взвешивается с точностью до 0,001 г ( $m_{\text{нач2}}$ , г);

Расчет параметров взаимодействия основан на предположении о том, что внешний влагообмен системы отсутствует. Поэтому, влага, отданная исследуемым телом, впитывается пачкой эталонных тел, то есть, изменение массы пачки ( $\Delta M_{\text{нач}}$ , г, формула 5) и образца ( $\Delta M_{\text{обр}}$ , г, формула 6) не должны различаться между собой более чем на 5 % (погрешность измерений):

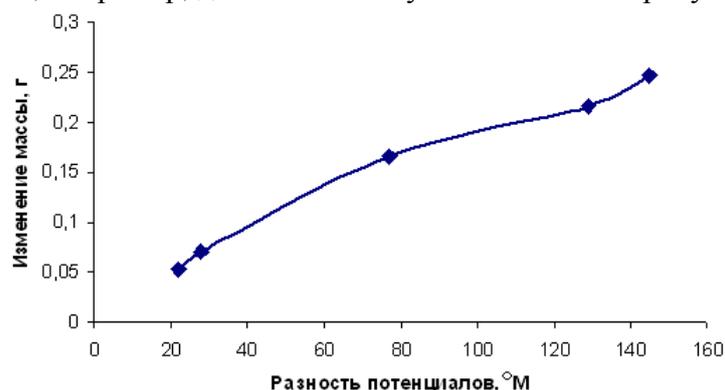
$$\Delta M_{\text{нач}} = m_{\text{нач2}} - m_{\text{нак}} - m_{\text{нач1}} \quad (4)$$

$$\Delta M_{\text{обр}} = m_{\text{сист}} - m_{\text{нак}} - m_{\text{нач1}} - m_{\text{обр2}} \quad (5)$$

Учитывая высказанные выше соображения, изменение потенциала влагообмена обоих тел должно быть одним и тем же (соотношение 6):

$$\Delta \Theta = \frac{\Delta u}{c_m} = \frac{m_{\text{нач-ч}} - m_{\text{нач}} - 2m_{\text{нач1}}}{0,025} \quad (6)$$

По заданной в начале эксперимента разности потенциалов влагопереноса и определенному при проведении опыта изменению массы образца может быть построена соответствующая зависимость, например, для хлопчато-бумажной ткани - рисунок 2.



**Рисунок 2 – Зависимость между разностью потенциалов влагообмена и величиной влаги, отданной исследуемым телом**

Как следует из полученных результатов, зависимость между величиной влагоотдачи и потенциалом влагопереноса близка к линейной.

На следующем этапе реализации проекта необходимо провести физическое моделирование условий эксплуатации капиллярно-пористых коллоидных полотен и исследовать протекающие при этом процессы переноса тепла и влаги в гигроскопическом и влажном состоянии. Полученные зависимости, выраженные в аналитическом виде, позволят прогнозировать состояние технических и биотехнических систем, эксплуатация которых сопряжена с использованием капиллярно-пористых коллоидных полотен, что является отдельной и важной задачей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.В. Разработка методики экспериментального исследования потенциала влагопереноса швейных материалов в системе «человек - одежда - окружающая среда» [Текст] / А.В. Абрамов, М.В. Родичева // Известия вузов. Технология легкой промышленности, - №3, - 2009, - с.56-58.
2. ГОСТ 3816-81 Полотна текстильные. Методы определения гигроскопичности и водоотталкивающих свойств / кол. авторов // ИПК Издательство стандартов - 1981 - 14 с.
3. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков // М. - Знамя - 1968г. - 472с.
4. Bartkowiak G. Liquid Sorption in Two-Layer Packets of Structurally Differentiate Knitted Materials [Text] / G. Bartkowiak // Materials of international conference «FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe» - October/December 2002 - Warszawa - Central Institute for Labour Protection - P. 45-48.
5. F. Fayala Capillary flow in fabrics [Text] / F. Fayala, M. Hamdaoui, A. Ghith, S. Nasrallah // The 2003 Spring Technical meeting on «Advanced Flexible Materials and Structures: Engineering with Fibers» - June 30-July 2, 2003 - University of Loughborough - Loughborough, UK - 2003 - P. 56-57.
6. Nyoni A.B. Liquid Transport In Nylon 6.6 Woven Fabrics Used For Outdoor Performance Clothing [Text] / Advances In Modern Woven Fabrics. Edited By Savvas Vassiliadis ISBN: 978-953-307-337-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-modern-woven-fabrics-technology/liquid-transport-in-nylon-6-6-woven-fabrics-used-for-outdoor-performance-clothing>

**Родичева Маргарита Всеволодовна**

Госуниверситет - УНПК, г. Орел  
 Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология и конструирование швейных изделий»  
 Телефон (4862) 55-11-20  
 E-mail tikshi@ostu.ru

**Абрамов Антон Вячеславович**

Госуниверситет - УНПК, г. Орел  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и окружающей среды»  
 Телефон (4862) 76-14-39  
 E-mail bgdgtu@mail.ru

**Павловская Алла Александровна**

Госуниверситет - УНПК, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»

Телефон (4862) 55-11-20

E-mail tikshi@ostu.ru

---

M.V. RODICHEVA, A.V. ABRAMOV, A.A. PAVLOVSKAYA

**PROCESSES OF TRANSFER OF MOISTURE IN CAPILLARY  
AND POROUS COLLOIDAL CLOTHS  
PART II. DAMP CONDITION**

*Authors consider existing methods of an assessment of indicators of transfer of vaporous and liquid moisture in structure of capillary and porous colloidal cloths, and also own methods of pilot studies of a number of indicators of transfer are offered. Article consists of two parts. In the first methods and approaches to the analysis of processes of transfer of vaporous moisture, in the second – drop are considered.*

*Work is executed in a framework the GRANT No. 12-08-97577 «Theoretical and pilot studies of processes warm and moisture transfer in structure of capillary and porous colloidal cloths», supported by Administration of the Oryol region.*

**Keywords:** capillary and porous colloidal cloths, влагоперенос, potential влагопереноса specific isothermal moisture content, capillarity.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Abramov, A.V. Development of a technique of a pilot study of potential влагопереноса sewing materials in system «the person - clothes - environment» [Text] / A.V. Abramov, M. V. Rodichev // News of higher education institutions. Technology of light industry, - No. 3, - 2009, - page 56-58.
2. GOST of 3816-81 Cloth textile. Methods of determination of hygroscopicity and water-repellent properties [Text] / stake. authors//IPK Standards Publishing House - 1981-14 p.
3. Lykov, A.V. Theor of Drying [Text] / A.V drying. Lykov // The Banner - 1968г. - 472с.
4. Bartkowiak G. Liquid Sorption in Two-Layer Packets of Structurally Differentiate Knitted Materials [Text] / G. Bartkowiak // Materials of international conference «FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe» - October/December 2002 - Warszawa - Central Institute for Labour Protection - P. 45-48.
5. F. Fayala Capillary flow in fabrics [Text] / F. Fayala, M. Hamdaoui, A. Ghith, S. Nasrallah // The 2003 Spring Technical meeting on «Advanced Flexible Materials and Structures: Engineering with Fibers» - June 30-July 2, 2003 - University of Loughborough - Loughborough, UK - 2003 - P. 56-57.
6. Nyoni A.B. Liquid Transport In Nylon 6.6 Woven Fabrics Used For Outdoor Performance Clothing [Text] / Advances In Modern Woven Fabrics. Edited By Savvas Vassiliadis ISBN: 978-953-307-337-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-modern-woven-fabrics-technology/liquid-transport-in-nylon-6-6-woven-fabrics-used-for-outdoor-performance-clothing>

**Rodicheva Margarita Vsevolodovna**

State university – ESPC. Orel

Cand. tech. sci., senior lecturer, head of the department «Technology and designing of garments»

Phone (4862) 55-11-20

E-mail tikshi@ostu.ru

**Abramov Anton Vyacheslavovich**

State university - ESPC. Orel

Cand. tech. sci., senior lecturer, department «Labor and environmental protection»

Phone (4862) 76-14-39

E-mail bgdgtu@mail.ru

**Pavlovskaya Alla Alexandrovna**

State university - ESPC. Orel

Cand. tech. sci., senior lecturer, department «Technology and designing of garments»

Phone (4862) 55-11-20

E-mail tikshi@ostu.ru

УДК 687. 1. 023: 687. 053. 661.

Т.В. КВАСКОВА, О.В. ГОРСКАЯ, М.С. ПЧЕЛЕНОК

## ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДОЛЕВОЙ НИТИ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ РАСКЛАДКИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ТКАНИ С РИСУНКОМ В КЛЕТКУ

*Разработана эффективная экспериментальная раскладка для новой модели женского платья с рисунком в клетку с помощью компьютерной системы САПР Grafis.*

**Ключевые слова:** Ткань в клетку, раскладка, долевая нить, эксперимент, модуль программы, расход материала, промышленная коллекция, САПР Grafis.

Безграничные возможности, заложенные в разнообразнейших сочетаниях рисунков клетчатой ткани, дают простор для поиска новых интересных решений, поэтому модели одежды из этих тканей всегда вызвали заслуженный интерес с одной стороны у дизайнеров, а с другой у потребителей.

Однако неумелое обращение с клетчатой тканью часто приводит к тому, что ткань, красивая в куске, становится менее привлекательной в изделии. И наоборот, ткань, не очень интересная в куске, при умелом ее использовании зачастую преобразуется, и выполненное из нее изделие вызывает заслуженный интерес потребителей.

Однако проектируя модную одежду нельзя забывать о рентабельности модели, уровень которой характеризует эффективность производства и условия реализации изделий. Чем выше уровень рентабельности, тем меньше себестоимость, которая, прежде всего, определяется стоимостью входящих в изделие материалов. Рациональному использованию материалов в швейной промышленности всегда отводилось важное место, т.к. доля материальных затрат в структуре себестоимости одежды составляет в пределах 80 – 90%. При работе с тканями с рисунком в клетку картина еще более проблематичная. Потери материала в процессе изготовления одежды из тканей с рисунком в клетку, как правило, достигают от 15% в классических моделях и более высокие проценты потерь в материале в креативных моделях, пользующихся повышенным спросом у потребителей. В этой связи снижение материалоемкости изделия является одним из важнейших факторов снижения его себестоимости, а, следовательно, повышения экономичности изделия.

Для достижения поставленной задачи необходима, прежде всего, тщательная проработка моделей на всех этапах производства, начиная от ее разработки и кончая выпуском готовой продукции.

Особенно важны проработки моделей промышленной коллекции на этапе эскизного проектирования, где необходимо прогнозировать расход материала на единицу изделия. Разработчик обязан решить двойственную проблему: с одной стороны необходимо учитывать специфические свойства ткани, а с другой потребительские требования со всеми вытекающими из этого последствиями.

Известно, что на расход клетчатой ткани, влияют такие факторы как: выбор методики конструирования, величины технологических припусков на обработку изделия в процессе пошива и конструктивных прибавок на свободное облевание, внешнее оформление изделия, взаимная сопряженность деталей, количество и размер дополнительных деталей и декоративных элементов, величина на образование складок и т.п. Размеры межлекальных потерь в раскладках зависят как от конструкции моделей и вида ткани, так и от количества и удельного веса мелких деталей, наличия разрезных деталей, ширины и вида поверхности клетчатой ткани, раппорта и симметричности рисунка клетки.

По методу, разработанному ЦНИИШП, стоимость материалов верха определяют по формуле

$$M = (S + A)\mu,$$

где M - стоимость материалов верха, руб;

S – суммарная площадь лекал деталей изделий, м<sup>2</sup>;

A – площадь общих отходов, появляющихся при изготовлении изделий, м<sup>2</sup>;

μ – стоимость 1 м<sup>2</sup> материала верха, руб.

Общеизвестно, что площадь общих отходов состоит из суммы площадей межлекальных отходов  $A_1$ , нерациональных остатков  $A_2$ , различного вида отходов по длине  $A_3$ , (кроме выделенных нерациональных остатков  $A_2$ ) и отходов по ширине  $A_4$ , т.е.

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4.$$

При определении расхода материала на единицу изделия, учитываются две составляющие, суммарная площадь лекал деталей изделия и площадь межлекальных отходов в раскладках лекал, что позволяет судить о целесообразности запуска моделей в производство:

$$Q = S + A_1$$

где  $Q$  – расход материала на единицу изделия, м;

$S$  – суммарная площадь лекал деталей изделий, м<sup>2</sup>;

$A_1$  – сумма площадей межлекальных отходов

Количество межлекальных отходов в раскладке лекал деталей изделий, можно определить по формуле

$$a = \frac{Q - S}{Q} 100$$

где  $a$  – количество межлекальных отходов в раскладках, %.

$Q$  – расход материала на единицу изделия, м;

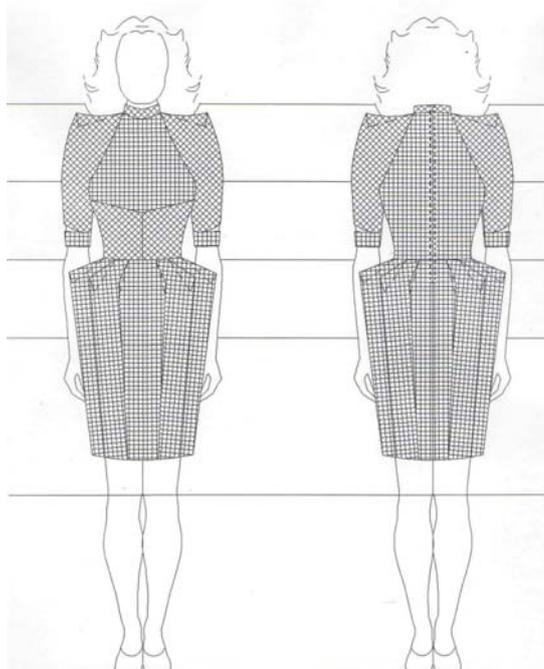
$S$  – суммарная площадь лекал деталей изделий, м<sup>2</sup>.

Уже на этапе эскизного проектирования моделей промышленной коллекции можно прогнозировать величины  $a$  и  $Q$  и таким образом оценивать материалоемкость изделия.

Расчет необходимых величин по имеющемуся методу трудоемкий процесс, сопряженный с выполнением многочисленных раскладок и их обчетом, что предполагает увеличения сроков подготовки запуска моделей, а в рыночных условиях производства это нежелательно.

Предложенный метод реализован с помощью компьютерной системы САПР «Grafis», выполняемый после введения всех необходимых данных о проектируемой модели в течение нескольких секунд.

Для оценки расхода материала на этапе эскизного проектирования изделия спроектирована модель женского платья из ткани одинаковой ширины с симметричным мелким рисунком в клетку (рис. 1).



*Рисунок 1 – Внешний вид исследуемого женского платья из клетчатой ткани*

Изделия из ткани в мелкую клетку (гленчек) пользуются повышенным спросом у потребителей в этом сезоне. В области плеча, верхних частях рукава реглан, имеются вытачки, а средний шов отсутствует. Рукав, являясь важнейшим элементом композиции, диктует форму платья в целом. Композиция лифа платья основана на сложных формах членения и сочетании двух направлений рисунка. Вытачки переведены в горизонтальную линию соединения частей лифа. Линия талии передней юбки оформлена так же складками.

Задача эксперимента заключалась в том, чтобы выявить влияние изменения направления нитей основы в деталях на снижение расхода ткани на единичное изделие из клетчатой ткани в раскладке без изменений эстетического оформления модели.

С помощью двух модулей программы Grafis проведена апробация экспериментальной модели.

Согласно техническому эскизу из базы данных программы была выбрана базовая конструкция платья О<sub>ПШ</sub> 88.

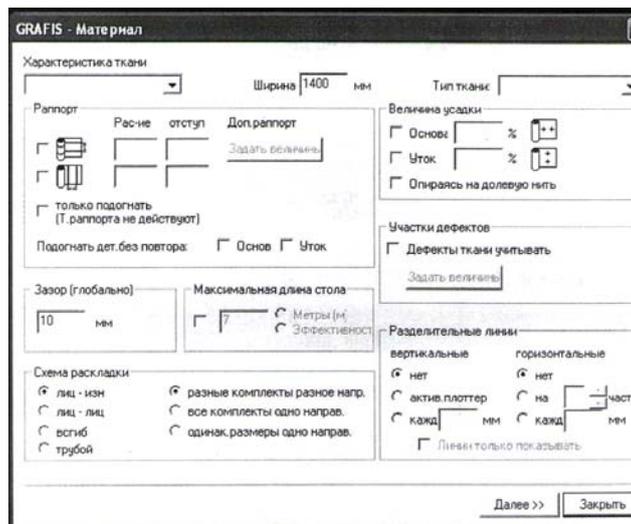
Исходной явилась раскладка, где все детали располагались в одном направлении по долевой нити, с учетом раппорта и расположения рисунка клетки, для обеспечения совпадения их в швах соединения деталей. Все последующие раскладки испытывали изменением долевых нитей поочередно каждой детали или их разумном сочетании, не влияющем на зрительное восприятие модели в целом и, чтобы в дальнейшем, при запуске изделия в массовое производство минимизировать подгонку рисунка.

В модуле конструирования поэтапно произведено конструктивное моделирование: коническое расширение рукава и юбки, перевод и моделирование вытачек полочки. Модель выбрана с наибольшим количеством конструктивных членений для более углубленного анализа выполняемых раскладок. Выбранная программа позволяет подробно описать характеристику раскладки перед ее выполнением.

Построение лекал каждой детали выполнено с нанесением необходимых надсечек, долевых нитей основы, маркировочных данных и припусков на швы. Для парных деталей построены шаблоны, продублированные детали воротника-стойки и манжет.

Информация о новой модели передается в окно данных о раскладке. Затем задаются: ширина ткани, свойства ткани (раппорт клетки, величина усадки) и зазор между деталями.

На рисунке 2 показано окно данных для выполнения раскладок.



**Рисунок 2 – Внешний вид окна данных для выполнения раскладок**

С помощью второго модуля выполняются раскладки.

Результаты экспериментальных раскладок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных раскладок

№ п/п	Доля деталей под углом 45 <sup>0</sup>	Названия деталей, расположенных под углом	Эффективность раскладки %	Длина раскладки м
1	2	3	4	5
1	0	Детали отсутствуют	67,8	1,91
2	14,2	Н/ч полочки- 2 детали	68,8	1,91
3	7,1	В/ч полочки- 1 деталь	66,1	1,96
4	14,2	Рукав - 2 детали	62,3	2,08
5	7,1	Спинка - 2 детали	63,2	2,05
6	14,2	Манжета- 2 детали	65,1	1,99
7	21,4	Перед. полотнище юбки- 1 дет., зад. полотнище юбки - 2 дет.	62,4	2,08
8	21,4	Спинка- 2 дет., в/часть полочки-1 дет.	67,1	1,93
9	57,1	Спинка- 2 дет., перед.полотнище юбки- 1 дет., зад. полотнище - 2 дет., рукав- 2 дет., в/часть полочки- 1 дет	63,7	2,03
10	100	Все детали	63,9	2,03
11	42,8	Рукав - 2 дет., н/часть полочки- 2 дет., в/стойка воротника – 1 дет., н/стойка воротника – 1 дет.	73,7	1,84
12	42,8	Рукав - 2 дет., н/часть полочки- 2 дет., в/стойка воротника – 1 дет., н/стойка воротника – 1 дет.	67,2	1,97
13	42,8	Рукав - 2 дет., н/часть полочки- 2 дет., в/стойка воротника – 1 дет., н/стойка воротника – 1 дет.	76,2	1,80

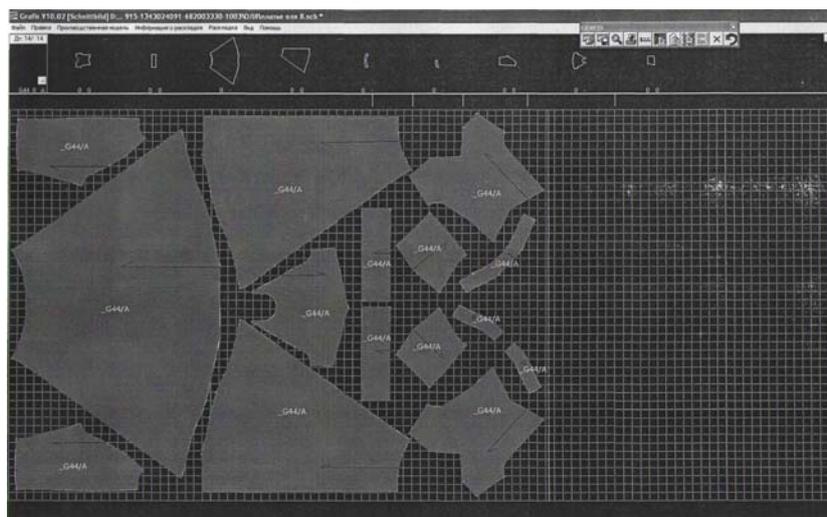
В ходе эксперимента рассмотрено: влияние на снижение расхода ткани на единичное изделие из клетчатой ткани в раскладке без изменения внешнего вида модели за счет:

изменения направления нитей основы в различных сочетаниях расположения деталей под углом 45<sup>0</sup> и по долевой нити;

влияние доли деталей, расположенных под углом 45<sup>0</sup> в общем количестве деталей края;

наличия рационально спроектированных форм мелких деталей.

Из таблицы 1 видно, что самой эффективной оказалась раскладка 13 (рис. 3).



**Рисунок 3 – Раскладка лекал женского платья из клетчатой ткани с наибольшей эффективностью**

Не смотря на одинаковую долю деталей выкраиваемых под углом 45<sup>0</sup> в трех последних раскладках, последняя оказалась наиболее эффективной за счет размещения в одной секции всех мелких деталей.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что на этапе экспериментального проектирования модели, возможно, прогнозировать экономию ткани, а значит, выпускать рентабельные конкурентоспособные изделия в условиях массового производства на предприятиях любой формы собственности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаньгина, В.Ф. Производство одежды из клетчатых тканей. [Текст] В.Ф. Шаньгина, И.И. Клабанова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 112 с., ил.
2. Литвина, Л.М. Моделирование одежды из клетчатых тканей / Л.М. Литвина.
3. Кокеткин, П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество/Справочник . - М.: МГУДТ, 2001. – 560 с.
4. Справочник по подготовке и раскрою материалов при производстве одежды / И. И. Галынкер, К. Г. Гущина, И. В. Сафронова и др. – М.: Легкая индустрия, 1980.

**Кваскова Тамара Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТИКШИ  
Тел. (4862) 55 – 11- 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

**Горская Ольга Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел  
Магистрант кафедры ТИКШИ  
Тел. (4862) 55 – 11- 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

**Пчеленок Мария Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел  
Магистрант кафедры ТИКШИ  
Тел. (4862) 55 – 11- 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

---

T.V. KVASKOVA, O.V. GURSKY, M.S. PCHELENOK

## INFLUENCE OF LAYOUT OF A SHARE THREAD ON PROFITABILITY OF LAYOUT OF A PRODUCT FROM FABRIC WITH A FIGURE IN A CELL

*Effective experimental layout is developed for new model of a female dress with a figure in a cell by means of a computer CAD of Grafis.*

**Keywords:** share thread, material expenditure, industrial collection, CAD of Grafis.

### BIBLIOGRAPHY

1. Shan'gina, V.F. Proizvodstvo odezhdy iz kletchatykh tkanej. [Tekst] V.F. Shan'gina, I.I. Klabanova. – М.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983. – 112 s., il.
2. Litvina, L.M. Modelirovanie odezhdy iz kletchatykh tkanej / L.M. Litvina.
3. Koketkin, P.P. Odezhda: tehnologija – tehnika, processy – kachestvo/Spravochnik . - М.: MGUDT, 2001. – 560 s.
4. Spravochnik po podgotovke i raskroju materialov pri proizvodstve odezhdy / I. I. Galynker, K. G. Gushhina, I. V. Safronova i dr. – М.: Legkaja industrija, 1980.

**Kvaskova Tamara Viktorovna**

FGBOU VPO "State University — UNPK", Orel  
Candidate of Technical Sciences, associate professor TIKShI  
Ph. (4862) 55 - 11 - 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

**Gursky Olga Vladimirovna**

FGBOU VPO "State University — UNPK", Orel  
Undergraduate of chair of TIKShI  
Ph. (4862) 55 - 11 - 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

**Pchelenok Maria Sergeevna**

FGBOU VPO "State University — UNPK", Orel  
Undergraduate of chair of TIKShI  
Ph. (4862) 55 - 11 - 20  
E-mail: tikshi@ostu.ru

## **ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

УДК 378.091:005.131]:004.9

М.И. РАБИНОВИЧ, Е.Ю. СТЕПАНОВА

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОТРУДНИКОВ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

*В статье рассмотрено понятие «уровень рейтинга» применительно к оценке деятельности сотрудника вуза. Предложена процедура определения уровня рейтинга и описана технология его применения при построении системы материального и морального стимулирования в вузе.*

**Ключевые слова:** высшее образовательное учреждение, оценка деятельности преподавателя, рейтинговая система, система морального и материального стимулирования.

В последние годы во многих вузах Российской Федерации разработаны и внедрены системы рейтинговой оценки деятельности сотрудников и структурных подразделений. Внутривузовские рейтинговые системы предоставляют исходную информацию для принятия административных (управленческих) решений. Потребность в системах поддержки принятия управленческих решений значительно возросла после перехода с 1 декабря 2008 г. к новой системе оплаты труда в образовательной сфере. Новая система оплаты расширила возможности стимулирования активности сотрудников, которую можно оценивать, используя внутривузовскую рейтинговую систему.

Вопрос состоит в следующем: «Как следует интерпретировать эту информацию, и по каким принципам строить на ее основе систему материального стимулирования сотрудников вуза?».

Авторы большинства работ, посвященных различным аспектам проектирования рейтинговых систем, ограничиваются в основном декларированием необходимости использования рейтинговой оценки при создании системы материального стимулирования сотрудников [2, 3, 6, 7]. Ряд работ посвящены обобщению требований к рейтинговым системам при использовании их для решения различных задач внутривузовского мониторинга [4, 5]. И лишь немногие из авторов предлагают варианты интерпретации рейтинговой информации, которые можно было бы использовать в системе материального стимулирования. Так, в работах [1, 8], для этих целей использованы квалиметрические шкалы. Авторами предложено ввести четыре уровня рейтинговой оценки сотрудников: высокий, выше среднего, ниже среднего и низкий. При этом, позиционирование сотрудников основано на соотношении их личного рейтинга и среднего рейтинга (цена деления квалиметрической шкалы принимается равной половине значения среднего рейтинга).

Чтобы понять, удачным ли является такой вариант интерпретации рейтинговой информации и может ли он быть использован в системе материального стимулирования, рассмотрим простой пример. Таблица 1 содержит рейтинговую информацию для пяти сотрудников вуза и соответствующий им уровень рейтинга, основанный на значении среднего рейтинга.

Действительно, поскольку значение среднего рейтинга сотрудника равно 20,0, то граница между уровнями рейтинга «высокий» и «выше среднего» проходит на уровне значения рейтинга в 30,0 единиц, а граница между уровнями рейтинга «низкий» и «ниже среднего» - на уровне значения рейтинга в 10,0 единиц.

Даже в таком простом примере при визуальном сопоставлении исходных значений рейтингов и полученных значений уровня возникает сразу два вопроса. Во-первых: «Правильно ли, что сотрудник №1 и сотрудники №2 и №3 получили один и тот же уровень рейтинга, тогда как абсолютные значения их рейтингов отличаются почти на 50%?». Во-вторых: «Правильно ли, что сотрудники №3 и №4 получили различный уровень рейтинга, тогда как абсолютные значения их рейтингов отличаются меньше, чем на 3%?».

Ответ очевиден – такое разделение сотрудников по уровням нельзя признать удачным, и оно может внести путаницу при интерпретации рейтинговой информации.

Таблица 1 – Пример определения уровня рейтингов

Идентификатор сотрудника	Рейтинг	Уровень рейтинга
Сотрудник №1	29.5	Выше среднего
Сотрудник №2	20.75	
Сотрудник №3	20.25	
Сотрудник №4	19.75	Ниже среднего
Сотрудник №5	9.75	Низкий

Таким образом, использование квалиметрических шкал, основанных на среднем значении рейтинга, может породить несправедливое разделение сотрудников вуза по уровням достигнутых ими результатов в профессиональной деятельности. А значит, этот механизм нельзя использовать в системе материального стимулирования при назначении единых для группы сотрудников сумм стимулирующей надбавки к заработной плате.

Причина того, что квалиметрические шкалы не подходят для разделения сотрудников по результатам их деятельности заключается в том, что этот механизм никак не учитывает распределение рейтинговой информации вдоль числовой оси. Но ведь только анализ этого распределения позволяет отыскать в массиве рейтинговой информации группы сотрудников с примерно равными результатами по показателям их деятельности. Поэтому приемлемое разделение сотрудников по уровням рейтинга надо подбирать индивидуально для каждого отдельно взятого рейтинг-листа.

Для примера, обратимся к исходным данным для рассмотренного выше примера (колонка «Рейтинг» в табл. 1). Очевидно, что наиболее естественным вариантом разделения сотрудников по уровням рейтинга, содержит не четыре (как в случае квалиметрической шкалы), а три уровня. К уровню рейтинга «Высокий» следует отнести сотрудника №1, к уровню «Средний» - сотрудников №2, №3 и №4, и у уровню «Низкий» - сотрудника №5. В расчет здесь принимаются абсолютные значения скачков рейтинга от сотрудника к сотруднику по всему рейтинг-листу. Для формализации этого процесса, можно предложить алгоритм, состоящий из следующих шагов:

- упорядочение рейтинг-листа в порядке убывания рейтинга;
- вычисление массива скачков рейтингов от сотрудника к сотруднику для ранее упорядоченного рейтинг-листа;
- выбор порогового значения скачка рейтинга для фиксации нового уровня рейтинга;
- отметка всех точек скачков рейтинга, больших по значению порогового, как точек разделения уровней рейтинга.

Таблица 2 содержит пример реализации этого алгоритма с использованием исходных данных из таблицы 1. В примере в качестве порогового значения для разделения уровней рейтинга взято значение в 3.0 единицы.

Конечно, на практике рейтинг-листы оценки деятельности сотрудников вуза содержат значительно большее число строк. Поэтому разделение сотрудников на группы по уровням рейтинга может оказаться удобным средством для анализа рейтинговой информации при принятии управленческих решений.

Но еще более обоснованным нам представляется использование уровней рейтинга в системе материального и морального стимулирования. Используя рейтинговую оценку, всегда следует помнить, что она не является результатом точного измерения процесса и результатов профессиональной деятельности сотрудников вуза. Рейтинговая оценка позволяет вы-

явить лишь общие тенденции в работе сотрудников, поскольку в ней не могут быть учтены все без исключения аспекты их деятельности. Утверждать, что один сотрудник работает лучше, чем другой можно только при существенном различии их личных рейтинговых оценок. Поэтому, сотрудников, относящихся к одной группе (по уровню рейтинга), не следует разделять при их моральном стимулировании. Что касается материального стимулирования, то его предпочтительнее осуществлять, исходя из среднего рейтинга для группы сотрудников, который следует вычислять для каждого из уровней рейтинга.

Таблица 2 – Пример определения границ уровней рейтингов

Идентификатор	Рейтинг	Скачок рейтинга	Отметка уровня
Сотрудник №1	29.5	8.75	Граница
Сотрудник №2	20.75		
Сотрудник №3	20.25	0.25	
		0.5	
Сотрудник №4	19.75	10.0	Граница
Сотрудник №5	9.75		

Рассмотрим теперь математический аппарат, позволяющий осуществлять материальное стимулирование на основе рейтинг-листа оценок деятельности сотрудников вуза.

Предположим, что некоторая сумма денежных средств выделена для установки стимулирующей надбавки к заработной плате группы сотрудников вуза. Для простоты понимания будем считать, что рейтинговые оценки этих сотрудников выделены в один общий рейтинг-лист.

Если рассматривать рейтинговую оценку сотрудника, как числовое значение, характеризующее вклад сотрудника в работу образовательного учреждения, то сумма рейтинговых оценок всех сотрудников, включенных в рейтинг-лист, будет являться числовой характеристикой общего объема работ, выполненного всеми сотрудниками вместе. Исходя из этого, доля работы, выполненной одним сотрудником и, соответственно, сумма его стимулирующей надбавки, может быть вычислена по следующей формуле:

$$S_j = V \frac{R_j}{\sum_j R_j}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем денежных средств, выделенных для стимулирования группы сотрудников;

$R_j$  – рейтинг  $j$ -ого сотрудника в рейтинг-листе;

$S_j$  – сумма стимулирующей надбавки для  $j$ -ого сотрудника.

Стимулирующая надбавка, вычисляемая по формуле (1), прямо пропорционально зависит от величины рейтинговой оценки. Это означает, что в случае нулевого значения рейтинговой оценки сумма стимулирующей надбавки тоже будет равна нулю. Поскольку рейтинговая оценка не может охватывать все сферы деятельности сотрудников вуза, такой вариант стимулирования может оказаться не самым удачным. Поэтому, для получения большей гибкости системы материального стимулирования, стимулирующую надбавку можно разбить на две составляющие – гарантированную и рейтинговую часть. Гарантированная часть стимулирующей надбавки одинакова для всех сотрудников, входящих в один рейтинг-лист. Она может быть относительно небольшой (по сравнению с рейтинговой частью), и призвана

способствовать сохранению чувства справедливости у сотрудников, чья деятельность по тем или иным причинам менее всего представлена в первичных критериях оценки, задействованных в рейтинговой оценке.

Варьируя соотношением между гарантированной и рейтинговой составляющей стимулирующей надбавки, можно получить различные варианты ее влияния на сотрудников вуза. Доминирование в стимулирующей надбавке рейтинговой составляющей в первую очередь стимулирует повышение активности сотрудников вуза, тогда как их паритетное соотношение может благотворно сказываться на сохранении стабильности в коллективе.

При таком подходе, сумма стимулирующей надбавки к заработной плате сотрудника может быть вычислена по следующей формуле:

$$S_j = S_{base} + (V - N S_{base}) \frac{R_j}{\sum_j R_j}, \quad (2)$$

где V – объем денежных средств, выделенных для стимулирования группы сотрудников;

$R_j$  – рейтинг j-ого сотрудника в рейтинг-листе;

$S_j$  – сумма стимулирующей надбавки для j-ого сотрудника;

$S_{base}$  – гарантированная сумма стимулирующей надбавки для всех сотрудников;

N – общее количество сотрудников в рейтинг-листе.

Рассмотрим пример распределения стимулирующей надбавки с исходными рейтинговыми оценками, взятыми из таблицы 1. Предположим, что для стимулирования сотрудников выделена сумма в 10 тысяч рублей. Таблица 3 содержит результаты расчета величины стимулирующей надбавки к заработной плате, вычисленной при различных значениях ее гарантированной части  $S_{base}$ .

Таблица 3 – Примеры распределения стимулирующей надбавки

Идентификатор	Рейтинг		Стимулирующая надбавка (руб)		
	личный	средний по уровню	$S_{base}=0$	$S_{base}=1000$	$S_{base}=2000$
Сотрудник №1	29.5	29.5	2950	2475	2000
Сотрудник №2	20.75	20.25	2025	2012.5	2000
Сотрудник №3	20.25		2025	2012.5	2000
Сотрудник №4	19.75		2025	2012.5	2000
Сотрудник №5	9.75	9.75	975	1437.5	2000

Как уже отмечалось, значение среднего рейтинга сотрудников равно 20.0 единиц. Нетрудно заметить, что рейтинг сотрудников №2, №3 и №4, которые относятся к уровню рейтинга «средний», имеют значение личного рейтинга, очень близкое к среднему значению, взятому по всему рейтинг-листу. Следует обратить внимание, что изменение величины гарантированной части надбавки к заработной плате не оказывает значительное влияние на величину стимулирующей надбавки для этой группы сотрудников. Степень влияния параметра  $S_{base}$  на величину стимулирующей надбавки увеличивается по мере увеличения отклонения рейтинга сотрудника от среднего рейтинга сотрудников, вычисленного по всему рейтинг-листу.

На практике, процедура организации материального стимулирования сотрудников вуза, проводимая с использованием рейтинговых оценок, должна включать в себя следующие основные шаги:

- разделение сотрудников на группы независимого расчета рейтингов (например, по квалификационному признаку);

- расчет рейтинговых оценок в каждой из выделенных групп и получения набора рейтинг-листов;
- выделение общей суммы денежных средств, предназначенных для стимулирования сотрудников вуза и распределение этой суммы между группами расчета рейтинга;
- разделение каждого рейтинг-листа по уровням рейтинга и расчет средних рейтингов по каждому уровню;
- определение величины гарантированной части стимулирующей надбавки к заработной плате (индивидуальной для каждого рейтинг-листа или единой для всех);
- выполнение автоматизированного расчета величины стимулирующей надбавки для всех сотрудников по всем рейтинг-листам и подготовка набора всех необходимых ведомостей.

Следует отдельно остановиться на этапе разделения сотрудников по уровням рейтинга внутри конкретного рейтинг-листа. Как уже отмечалось выше, справедливое разделение можно выполнить только индивидуально для каждого набора рейтинговых оценок. Алгоритм получения такого разделения, проиллюстрированный в таблице 2, способен создать лишь черновой вариант (или набор таких вариантов) разделения, который в ряде случаев нуждается в определенной корректировке. Приведем один пример. Предположим, что рейтинг-лист содержит группу сотрудников из тридцати человек, которые расположены последовательно друг за другом и при этом рейтинговая оценка у двух соседствующих по рейтингу сотрудников отличается друг от друга примерно на один процент. Поскольку скачки рейтинга от одного сотрудника к другому внутри этой группы незначительны, велика вероятность того, что вся группа сотрудников будет отнесена к одному и тому же уровню рейтинга. При этом разница в рейтинге у первого и последнего из сотрудников, попавших на этот уровень, будет составлять около тридцати процентов. При таких условиях было бы явной несправедливостью одинаково стимулировать обоих сотрудников (по среднему рейтингу уровня).

Можно привести много других примеров, свидетельствующих о трудности разработки алгоритма, обеспечивающего справедливое разделение рейтинговой информации по уровням. И еще более сложной задачей является обоснование надежности такого алгоритма.

Поэтому, с нашей точки зрения, при использовании рейтинговой оценки в системе материального стимулирования не следует стремиться к полной автоматизации всех расчетных процедур. В частности, при разделении сотрудников по уровням их личного рейтинга, предпочтительным представляется автоматизировать лишь получение черного (стартового) варианта такого разделения и при этом снабдить систему развитым инструментарием для его редактирования. Такой инструментарий должен включать в себя следующие функциональные возможности:

- разделение отдельного уровня рейтинга на два подуровня;
- соединение двух смежных уровней рейтинга в единый уровень рейтинга;
- перемещение первого по списку сотрудника в выделенном уровне рейтинга на более высокий уровень;
- перемещение последнего по списку сотрудника в выделенном уровне рейтинга на более низкий уровень.

Нетрудно убедиться в том, что с помощью вышеперечисленных функций можно выполнить любые необходимые манипуляции с уровнями рейтинга, вплоть до разделения рейтинг-листа на уровни по числу сотрудников или объединение всех сотрудников в один уровень рейтинга.

Элемент интерфейса системы материального стимулирования сотрудников вуза, позволяющий в полуавтоматическом режиме разделять сотрудников по уровням рейтинга и рассчитывать для них размер стимулирующей надбавки к заработной плате, показан на рисунке 1.

Ведомость распределения надбавки (премии) с учётом рейтингов					
Фамилия И.О.	Подр.	Рейтинг	Ср. реит.	Сумма (руб)	
Бондарева С.Р.	ФСПО	49,709	44,406	17750	
Василенко О.А.	ФСПО	39,103			
Жарких Е.В.	ФСПО	33,986	32,417	12950	
Дьяченко С.В.	ФСПО	32,986			
Демина Е.Н.	ФСПО	32,72			
Сотников Ю.К.	ФСПО	31,298			
Ноздрачева Т.А.	ФСПО	31,097			
Грязнова В.В.	ФСПО	27,218	24,705	9900	
Цуканова Н.Е.	ФСПО	23,663			
Ермаков И.Е.	ФСПО	23,235			
Воронков А.В.	ФСПО	21,953	21,479	8650	
Логачева Л.Ф.	ФСПО	21,533			
Морозова Н.Л.	ФСПО	21,384			
Быкова В.Н.	ФСПО	21,046			
Щербаков В.В.	ФСПО	19,882	19,178	7700	
Богданова С.Б.	ФСПО	18,848			
Дворянинов В.В.	ФСПО	18,804			
Никищенкова Г.В.	ФСПО	18,003	17,379	7000	
Егоров М.В.	ФСПО	17,799			
Рубцова Т.А.	ФСПО	17,567			
Коршунова Л.И.	ФСПО	17,561			
Крамская Л.А.	ФСПО	17,47			
Чудиновский П.Ф.	ФСПО	17,043			
Осипова В.В.	ФСПО	17,03			
Ветрова И.Ф.	ФСПО	16,555			
Мстиславская Л.И.	ФСПО	15,639	14,974	6050	
Миронова С.Н.	ФСПО	15,379			

Факт. сумма = 380 050 р.

Разделить сумму

Всего (руб.) ..... 380000

минимум каждому... 100

Округлять до... 50 р.

Разбивка на группы

Разбито на 16 групп.

Первого сотрудн. в верхнюю группу

Последнего сотр. в нижнюю группу

Разбить группу на 2 группы

Соединить группу с верхней группой

Соединить группу с нижней группой

Действия с ведомостью

Закреть

Рисунок 1 – Элемент интерфейса для распределения стимулирующей надбавки в системы материального стимулирования

Выбор наилучшего стартового варианта разбиения рейтинг-листа на уровни достигается при визуальном контроле варьирования количеством уровней рейтинга. Дальнейшие преобразования выполняются путем выделения конкретного уровня рейтинга и активизации операции переноса сотрудников на смежные уровни или слияния/разделения уровней рейтинга.

Дополнительные функции элемента интерфейса позволяют выбрать вариант округления при расчете сумм стимулирующих надбавок, сохранять и восстанавливать текущий вариант деления для возобновления его редактирования. После завершения процедуры расчета величины стимулирующих надбавок, система позволяет экспортировать ведомость в формате Microsoft Word.

Следует добавить, что система распределения стимулирующей надбавки к заработной плате сотрудников была апробирована и внедрена как составная часть системы материального и морального стимулирования Орловского Технологического института им. Н.Н. Поликарпова, входящего в состав ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева, Е.К. Рейтинг преподавателей, факультетов и кафедр в вузе: Методическое пособие / Е.К. Васильева, О.А. Граничина, С.Ю. Трапицын. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2007. — 159 с.
2. Лагерев, А.В. Система рейтинговых оценок факультетов, кафедр, преподавателей, студентов и студенческих групп / А.В. Лагерев, О.А. Горленко. – Брянск: Изд-во БрянскГТУ, 2005.- 74 с.
3. Новаков, И.А. Рейтинг в вузе: научно-методические основы и практика: учеб. пособие / И. А. Новаков, Ю. В. Попов, В. Н. Подчеснов, Е. Р. Андросюк, В. Г. Кучеров, В. И. Садовников / Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград, 1999.- 102с.
4. Рабинович, М.И. О разработке типологии рейтинговых оценок деятельности преподавателей и кафедр для системы морального и материального стимулирования профессиональной деятельности / М.И. Рабинович, Е.Ю. Степанова // Университетское управление: практика и анализ.- 2009.- № 3.- С. 23-28.
5. Степанов, Ю.С. О проблемах получения рейтинговых оценок деятельности преподавателей, кафедр и факультетов во внутривузовской системе управления качеством образования / Ю.С. Степанов, М.И. Рабинович // Университетское управление: практика и анализ.- 2006.- № 6.- С. 53-57.
6. Фишбейн, Б.Д. О методологии рейтинг-оценивания деятельности кафедр высшего учебного заведения: препринт / Б.Д. Фишбейн. - Самара: СамГАПС, 2004.-24 с.

7. Фролов, В.Н. Рейтинговая оценка деятельности структурных подразделений как элемент системы мониторинга качества образования в университете: монография / В.Н. Фролов, Э.Д. Поликарпов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. 184 с.

8. Шульгина, Т.А. Рейтинговая оценка качества научно-исследовательской и научно-методической деятельности преподавателя: учебное пособие / Т.Л. Шульгина, Г.Н. Воробьева, С.А. Хузина. - Челябинск: ООО «Издательство РЕКПОЛ», 2009. – 75 с.

**Рабинович Марк Иосифович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Зам. начальника информационно-вычислительного центра

Тел. (4862) 55-63-41

E-mail: rabi@ostu.ru

**Степанова Елена Юрьевна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Кандидат экономических наук, доцент

Тел. 7-910-3027289

E-mail: stepanov@ostu.ru

---

M.J. RABINOVICH, E.Y. STEPANOVA

**RATING SYSTEM USE FOR LECTURERS' ACTIVITIES EVALUATION  
IN COLLEGE BONUS SYSTEM FORMATION**

*The “rating levels” concept applied to the evaluation of lecturer’s activities at higher education institutions (college) is considered. The procedure of rating levels determination is offered. Main attention is paid to the use of rating levels in the college bonus system.*

**Key words:** *higher education institution, evaluation of lecturer’s activities, rating system, bonus system*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Vasil'eva, E.K. Rejting преподавателей, fakul'tetov i kafedr v vuze: Metodicheskoe posobie / E.K. Vasil'eva, O.A. Granichina, S.Ju. Trapicyn. – SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 2007. — 159 s.

2. Lagerev, A.V. Sistema rejtingovyh ocenok fakul'tetov, kafedr, преподавателей, studentov i studentov / A.V. Lagerev, O.A. Gorlenko. – Brjansk: Izd-vo BrjanskGTU, 2005.- 74 s.

3. Novakov, I.A. Rejting v vuze: nauchno-metodicheskie osnovy i praktika: ucheb. posobie / I. A. Novakov, Ju. V. Popov, V. N. Podchesnov, E. R. Androsjuk, V. G. Kucherov, V. I. Sadovnikov / Volgogradskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet. - Volgograd, 1999.- 102s.

4. Rabinovich, M.I. O razrabotke tipologii rejtingovyh ocenok dejatel'nosti преподавателей i kafedr dlja sistemy moral'nogo i material'nogo stimulirovanija professional'noj dejatel'nosti / M.I. Rabinovich, E.Ju. Stepanova // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz.- 2009.- № 3.- S. 23-28.

5. Stepanov, Ju.S. O problemah poluchenija rejtingovyh ocenok dejatel'nosti преподавателей, kafedr i fakul'tetov vo vnutrivuzovskoj sisteme upravlenija kachestvom obrazovanija / Ju.S. Stepanov, M.I. Rabinovich // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz.- 2006.- № 6.- S. 53-57.

6. Fishbejn, B.D. O metodologii rejting-ocenivanija dejatel'nosti kafedr vysshego uchebnogo zavedenija: preprint / B.D. Fishbejn. - Samara: SamGAPS, 2004.-24 s.

7. Frolov, V.N. Rejtingovaja ocenka dejatel'nosti strukturnyh podrazdelenij kak jelement sistemy monitoringa kachestva obrazovanija v universitete: monografija / V.N. Frolov, Je.D. Polikarpov. Voronezh: GOUVPO «Voronezhskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet», 2007. 184 s.

8. Shul'gina, T.A. Rejtingovaja ocenka kachestva nauchno-issledovatel'skoj i nauchno-metodicheskoj dejatel'nosti преподавателя: uchebnoe posobie / T.L. Shul'gina, G.N. Vorob'eva, S.A. Xuzina. - Cheljabinsk: ООО «Izdatel'stvo REKPOL», 2009. – 75 s.

**Rabinovich Mark Iosifovich**

Federal state educational institution «University - unpk»

Zam. chief of computer center

Phone (4862) 55-63-41

E-mail: rabi@ostu.ru

**Stepanova Elena Yurievna**

Federal state educational institution «University - unpk»

Candidate of economic Sciences, associate Professor

Phone 7-910-3027289

E-mail: stepanov@ostu.ru

А.П. ЧИРКОВ

## ФОРМИРОВАНИЕ БЛАГОПРИЯТНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕГИОНЕ

*В статье рассматриваются вопросы создания условий для внедрения на предприятиях критических технологий*

**Ключевые слова:** конкурентоспособность, критические технологии, целевые программы, метрология.

Динамика технологического развития в 21 веке предъявляет особые требования. Освоение и использование наукоемких технологий становится не только признаком креативности, но и условием экономического благополучия и выживания.

Без применения наукоемких технологий сегодня трудно рассчитывать на конкурентоспособность выпускаемой продукции. Это в полной мере относится и к продукции машиностроения.

Еще одной особенностью 21 века является тот факт, что цикл, характеризующий высокие, наукоемкие технологии, (фундаментальное научное исследование - разработка новых машин - создание новых технологических способов - выпуск продукции на основе новых технологических принципов) сокращается.

В этой ситуации стоит задача не только подготовить специалистов, способных осваивать и использовать наукоемкие технологии, но и создать систему формирования благоприятных условий для внедрения таких технологий на производстве.

Для обеспечения конкурентоспособности продукции, эффективного использования научно-технического потенциала и на их основе решения задач социально-экономического развития необходимо создание экономических, правовых и организационных условий для инновационной деятельности.

Как показал анализ, на сегодня ещё не сложилась целостная эффективная система государственной поддержки внедрения наукоемких технологий.

В настоящее время наиболее активно функционирует лишь блок федерального уровня. В целях государственной поддержки внедрения наукоемких технологий в России, как и в большинстве развитых стран, периодически на уровне руководства страны утверждаются перечни критических технологий. Последний был принят в 2011 году [1] и включил в себя 27 критических технологий.

Что касается регионального уровня, а именно на нем и реализуются наукоемкие технологии, сегодня в этом направлении работа практически не ведется. Поэтому создание благоприятных условий для внедрения технологий зависит в основном от активности предприятий, их внедряющих, и инициативы инфраструктурных организаций.

При таком подходе предприятиям сложно рассчитывать на высокие темпы внедрения наукоемких технологий, а инфраструктурным организациям - на максимальное удовлетворение потребностей в оказываемых услугах, эффективное расходование ресурсов на техническое развитие.

Являясь одной из инфраструктурных организация, ФБУ "Ярославский ЦСМ", провел анализ существующего положения и подготовил предложения по его исправлению. В частности были разработаны:

- проект Функциональной модели управления разработкой и внедрением критических технологий с более активным участием региональных органов власти, созданием системы координации деятельности предприятий и инфраструктурных организаций (рис. 1);
- методика и макет региональной целевой программы поддержки критических технологий.

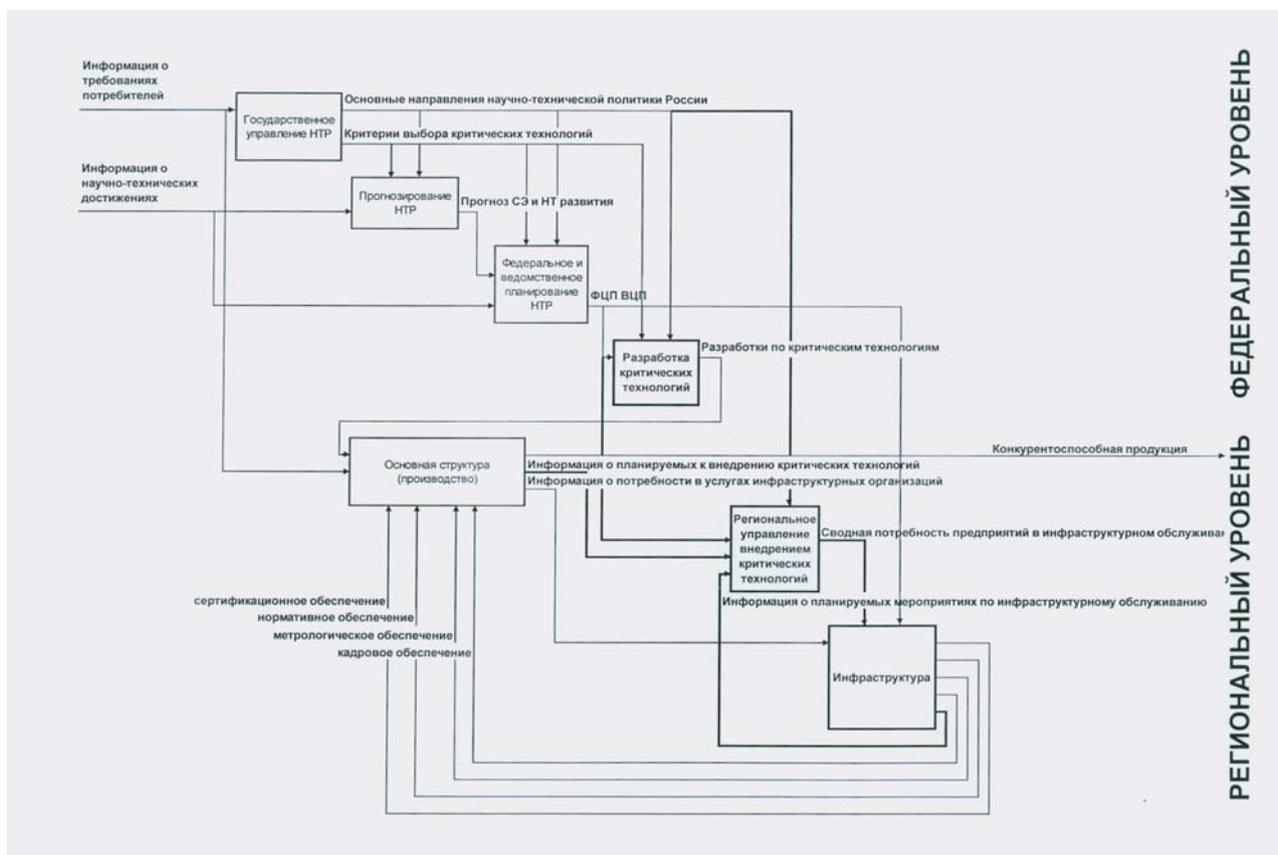


Рисунок 1 - Функциональная модель управления разработкой и внедрением критических технологий

Жирными линиями на рисунке 1 выделены информационные потоки, и блок "Региональное управление внедрением критических технологий", которые необходимо добавить в существующую модель для повышения информированности инфраструктурных организаций о потребности предприятий в новых видах услуг.

Одной из ключевых проблем формирования благоприятной среды для внедрения наукоёмких (критических) технологий в регионе является выявление технологий, требующих поддержки.

Возможны два подхода к получению такой информации: либо сбор информации с предприятий и организаций о внедряемых критических технологиях самими инфраструктурными организациями, либо организация этой работы местными органами власти, заинтересованными в повышении конкурентоспособности выпускаемой на предприятиях региона продукции.

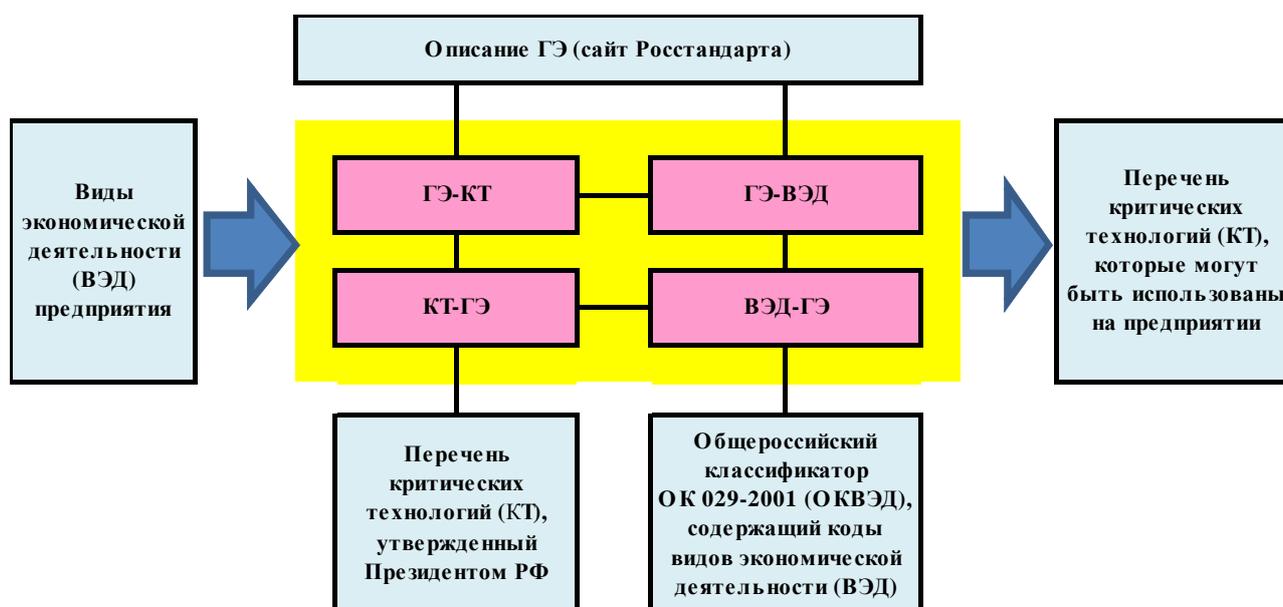
В связи с этим одной из первоочередных и важнейших задач является разработка методологии получения исходной информации о потенциале использования критических технологий в регионе.

Как показал анализ для разработки методологии единственным связующим звеном экономики и критических технологий является метрология, а точнее государственные первичные эталоны.

В описаниях большинства государственных первичных эталонов кроме прочих приводится описание области применения единиц физических величин: виды деятельности, отрасли и критические технологии. (Сведения о государственных первичных эталонах единиц величин размещены на сайте Росстандарта: [http://www.fundmetrology.ru/08\\_gosetalon/list.aspx](http://www.fundmetrology.ru/08_gosetalon/list.aspx).)

Используя эти взаимосвязи, в ФБУ "Ярославский ЦСМ" была создана на базе ПЭВМ справочно-информационная система (СИС).

Структура СИС приведена на рисунке 2.



*Рисунок 2 - Справочно-информационная система взаимосвязи метрологии, экономики и критических технологий*

*ГЭ - государственный первичный эталон,*

*КТ - критическая технология, ВЭД - вид экономической деятельности*

Использование СИС для анализа потенциала применения критических технологий в регионе проиллюстрируем на примере Ярославской области.

Анализ выполнен по видам экономической деятельности, осуществляемых в Ярославской области и с учетом потенциала ВУЗов и НИИ региона.

Анализ данных о 50 крупных промышленных предприятиях Ярославской области позволил определить основные виды экономической деятельности (формулировка по ОК 029-2001) для последующего их применения при выявлении потенциала внедрения критических технологий.

Используя СИС по связи "вид экономической деятельности - критические технологии" определили возможные для использования в них критические технологии. В результате обработки данных получили список из 31 критической технологии, которые могут быть использованы в экономике региона.

В качестве представляющих наибольший интерес для предприятий области были определены 18 из них.

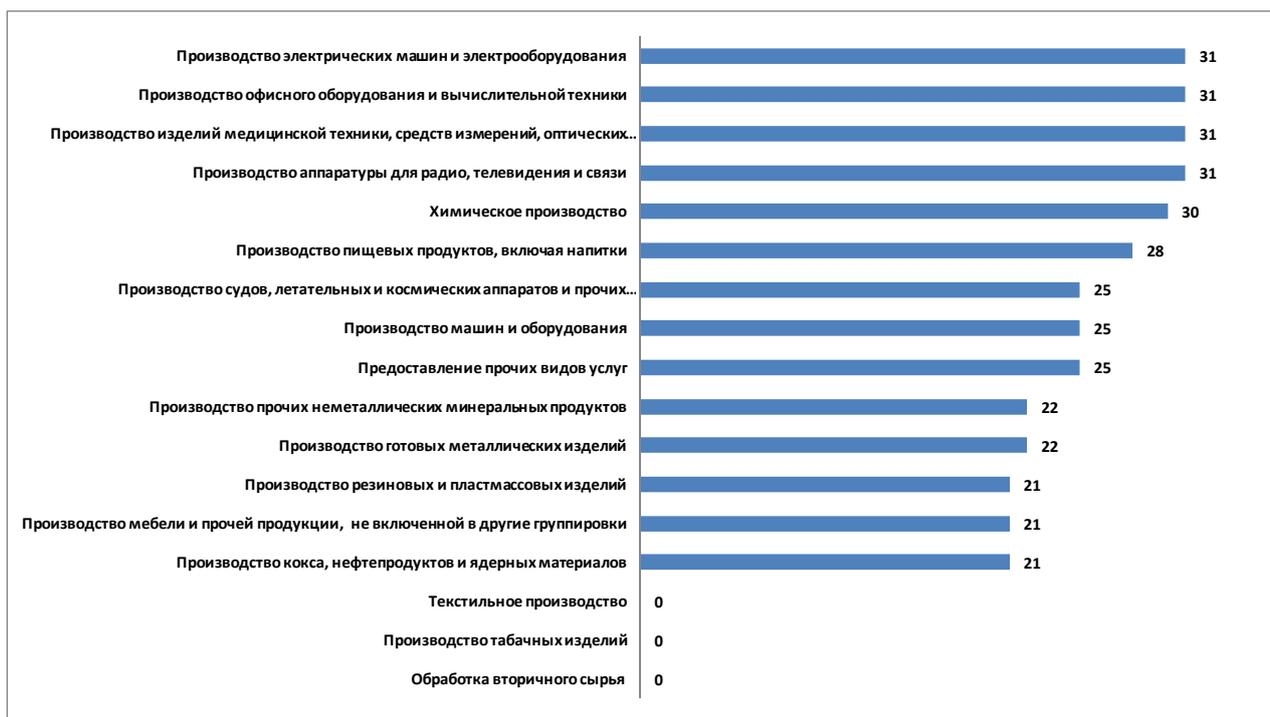
На рисунке 3 приведена диаграмма распределения видов экономической деятельности по числу потенциально используемых критических технологий.

В качестве возможных для внедрения в регионе критических технологий с учетом потенциала ВУЗов и НИИ региона определены соответственно 16 и 11 критических технологий.

Сравнение перечней, полученных при анализе по основным предприятиям и по ВУ-Зам и НИИ, позволяет с достаточно большой долей вероятности утверждать, что в регионе используются, либо эффективно могут быть использованы 10 критических технологий:

- Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии
- Нанотехнологии и наноматериалы
- Технологии механотроники и создания микросистемной техники
- Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы
- Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации
- Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы
- Технологии производства программного обеспечения

- Технологии распределенных вычислений и систем
- Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф
- Технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления.



*Рисунок 3 - График распределения видов экономической деятельности по числу потенциально используемых критических технологий*

Как мы знаем, одна из них - "нанотехнологии и наноматериалы" - с успехом реализуется на одном из предприятий региона ЗАО "Новые инструментальные решения" (ЗАО "НИР").

Этот перечень может быть использован при разработке Региональной целевой программы поддержки внедрения критических технологий.

В ФБУ "Ярославский ЦСМ" справочно-информационная система по связи "критическая технология - рабочие эталоны" используется при формировании планов технического переоснащения для определения приоритетов в приобретении новых рабочих эталонов.

Приведенный пример показал, что даже при ограниченных ресурсах имеется возможность получения информации для управления процессом внедрения инновационных разработок. Эта информация может быть использована при создании системы формирования благоприятной среды для внедрения наукоёмких (критических) технологий.

### ВЫВОД

Создание такой системы отвечает интересам экономики региона. Её наличие позволило бы сокращать сроки внедрения критических технологий и на их основе выпускать конкурентоспособную продукцию высокого качества, эффективно использовать средства организаций, обеспечивающих кадровое, нормативно-техническое, информационное, метрологическое и сертификационное обслуживание.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перечень критических технологий. Утвержден Указом Президента Российской Федерации № 899 от 07.07.2011.

**Чирков Алексей Павлович**  
ФБУ «Ярославский ЦСМ»  
Кандидат технических наук, директор  
Тел. (4852) 30-62-00  
E-mail: yaroslavl@.ru

---

A.P. CHIRKOV

**AN ENABLING ENVIRONMENT FOR INTRODUCTION  
OF HIGH TECHNOLOGY IN THE REGION**

*The article deals with the creation of conditions for the implementation of critical technologies in enterprises.*

**Key words:** *competitive, critical technologies, targeted programs, metrology.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. The list of critical technologies. Approved by Presidential Decree № 899 from 07.07.2011.

**Chirkov Alexey Pavlovich**

Candidate Sc. Tech.,  
Director for Federal State Institution "State Regional Center of Standardization,  
Metrology and Testing in the Yaroslavl region"  
Phone (4852) 30-62-00  
E-mail: yaroslavl@.ru

# **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ** **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 629.735.45:551.53

О.И. КУЗНЕЦОВ, В.М. СОЛДАТКИН

## **МЕТОДИКА АНАЛИЗА УРОВНЯ ОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА ВЕРТОЛЕТА**

*Рассматриваются характерные значения параметров при приближении к критическим режимам полета вертолета, раскрываются методика построения частных и интегральной информативных функций опасности текущего режима полета и возможности их использования при решении задач предупреждения, информационной поддержки экипажа и построения алгоритмов управления по выводу вертолета из возникшей нештатной ситуации.*

*Ключевые слова:* вертолет, критические режимы, уровень опасности, анализ, информативные функции, построение, использование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В народном хозяйстве и в военных целях широкое применение находят вертолеты различных классов и назначения. Повышение эффективности выполнения полетных задач и максимальное использование летно-технических возможностей вертолета при жестких требованиях к качеству пилотирования на режимах полета, близких к предельным, обуславливают необходимость создания систем предупреждения и предотвращения критических режимов полета вертолета [1].

Анализ предельных режимов, аэродинамики и динамики полета вертолета [2, 3] показывает, что критические режимы полета вертолета связаны: с прочностью элементов конструкции – при превышении максимально допустимой приборной скорости; с режимом обтекания несущего винта, при котором его коэффициент режима работы приближается к максимально допустимому значению; с превышением максимально допустимого значения числа Маха конца наступающей лопасти и возрастанием волнового сопротивления несущего винта; с возникновением режима «вихревое кольцо», приводящим к пульсациям и срыву потока с лопасти; с превышением летных ограничений по максимально допустимой несущей способности несущего винта, связанных с режимом обтекания и срывом потока с отступающей лопасти; с возникновением при маневрировании с большими вертикальными перегрузками недопустимого с точки зрения безопасности полета вертолета явления «подхвата».

### **ПАРАМЕТРЫ И МОДЕЛИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ РЕЖИМА ПОЛЕТА ВЕРТОЛЕТА**

Как показано в работе [4], ограничения на параметры движения вертолета на каждом из возможных критических режимов полета определяются граничными значениями характерных параметров  $x_{\text{гpi}}$ , превышение которых приводит к возникновению одной из регламентируемых Нормами летной годности вертолетов (НЛГВ) особой (нештатной) ситуации  $H_i$  [5]: усложнению условий полета (УУП), сложной (СС), аварийной (АС) и катастрофической (КС) ситуациям.

Определяющим признаком возникновения каждой из особых ситуаций  $H_k$  на каждом режиме полета вертолета от взлета до посадки, на режимах снижения и висения является превышение характерных параметров  $x_i$  известных для данного типа вертолета эксплуатационных ограничений  $x_{\text{гpi}}$ .

При построении систем предупреждения критических режимов самолетов и вертолетов принято выделять следующие характерные значения параметров  $x_i$ , определяющих не-

штатные режимы полета [4]:

- $x_{iн}$  – номинальное значение параметра  $x_i$ , соответствующее нормальному (с точки зрения безопасности) эксплуатационному режиму полета;
- $x_{iп}$  – пороговое значение, соответствующее уровню срабатывания сигнализации и свидетельствующее о выходе параметра  $x_i$  в зону УУП;
- $x_{iдоп}$  – допустимое значение параметра, соответствующее границе перехода от УУП к СС;
- $x_{iпред}$  – предельное (опасное) значение параметра, выход за границы которого является причиной возникновения АС;
- $x_{икр}$  – критическое значение параметра, превышение которого с вероятностью, близкой к единице, приводит к возникновению катастрофической ситуации.

Тогда при полете вертолета, каждая из особых ситуаций  $H_k$ , обусловленная изменением характерного параметра  $x_i$ , может быть идентифицирована следующими уравнениями [2]:

- катастрофическая ситуация:  $x_i \geq x_{икр}$  и  $P_{оп}^{x_i} = 1$ ;
- аварийная ситуация:  $x_{икр} > x_i \geq x_{ипред}$  и  $10^{-2} \leq P_{оп}^{x_i} < 1$ ;
- сложная ситуация:  $x_{ипред} > x_i \geq x_{идоп}$  и  $10^{-4} \leq P_{оп}^{x_i} < 10^{-2}$ ;
- усложнение условий полета:  $x_{идоп} > x_i \geq x_{ип}$  и  $10^{-6} \leq P_{оп}^{x_i} < 10^{-4}$ ;
- нормальные эксплуатационные условия:  $x_i < x_{ин}$  и  $10^{-9} \leq P_{оп}^{x_i} < 10^{-6}$ .

где  $P_{оп}^{x_i}$  – вероятность возникновения катастрофической ситуации при данном значении параметра  $x_i$ , характеризующая степень опасности данного режима полета по параметру  $x_i$ .

Так как на границах особых ситуаций  $H_k$  связь значений  $x_{igr}^{H_i}$  параметра  $x_i$  и вероятностного показателя опасности режима полета вертолета  $P_{оп}^{x_i}$  однозначна, то по граничным точкам  $x_{igr}^{H_k}$  может быть построена детерминированная для данного типа вертолета непрерывная информативная функция опасности [1]

$$F_{оп}^{x_i} = f(x_i), \tag{1}$$

которая однозначно характеризует изменение уровня безопасности полета вертолета при изменении параметра  $x_i$ .

При нормальных эксплуатационных условиях полета частная информативная функция опасности по  $x_i$  параметру полета будет изменяться в интервале

$$0 \leq F_{оп}^{x_i} < F_{оп}^{x_k УУП}. \tag{2}$$

При переходе особой ситуации из зоны УУП до зоны СС, от СС до АС и от АС до КС информативная функция  $F_{оп}$  будет соответственно изменяться в интервалах

$$F_{оп}^{x_k УУП} \leq F_{оп}^{x_i} < F_{оп}^{x_k СС}; \quad F_{оп}^{x_k СС} \leq F_{оп}^{x_i} < F_{оп}^{x_k АС}; \quad F_{оп}^{x_k АС} \leq F_{оп}^{x_i} < F_{оп}^{x_k КС}. \tag{3}$$

При построении частной информативной функции  $F_{оп}^{x_i}$  опасности полета вертолета при изменении характерного параметра  $x_i$  принималось допущение, о том, что другие параметры движения вертолета находятся в пределах эксплуатационной области и не вносят заметного влияния на изменение вероятностного показателя опасности  $P_{оп}^{x_i}$ . При приближении к эксплуатационным ограничениям нескольких характерных параметров  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) уровень опасности режима полета вертолета в целом может быть оценен условной вероятностью:

$$P_{\text{ап}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{\text{оп}}^{x_i}), \quad (4)$$

в соответствии с которой, может быть построена интегральная информативная  $F_{\text{оп}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , определяющая текущий уровень опасности режима полета вертолета в целом, вида

$$F_{\text{оп}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_{\text{оп}}^{x_i}) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - f(x_i)]. \quad (5)$$

Так как характерные параметры  $x_i$  на каждом режиме полета взаимосвязаны через динамику движения вертолета, то эти связи учитываются и в полученных частных и интегральной информативных функциях опасности.

### ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА ВЕРТОЛЕТА

В общем случае интегральная информативная функция опасности текущего режима полета вертолета является функцией многих переменных, т.е.  $F_{\text{оп}} = F_{\text{оп}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Однако, как показано в работе [6], для большинства критических режимов полета вертолета их возникновение определяется лишь несколькими (в основном двумя, тремя) характерными параметрами движения вертолета. При этом в процессе полета вертолета возможно возникновение особых ситуаций двух типов: в первом из них вертолет приблизился или находится в зоне аварийной ситуации, во втором – находится в особой ситуации, меньшей степени опасности, чем аварийная, например, в усложненных условиях полета или в сложной ситуации.

В первом случае задача системы предупреждения и предотвращения критических режимов вертолета (СПКР-В) состоит в эффективном предотвращении развития возникшей особой ситуации, недопущении катастрофической ситуации и выводе вертолета из зоны аварийной ситуации. Во втором случае задача ИУ СПКР-В состоит в предупреждении экипажа вертолета о выходе вертолета за границу нормального эксплуатационного режима полета или понижении степени опасности возникающей сложной ситуации по характерному параметру  $x_i$ .

Если в момент времени  $t$  за эксплуатационные ограничения вышли несколько, например,  $r$  информативных функций опасности  $F_{\text{оп}}^{x_i}$ , то дальнейшее управление движением вертолета должно происходить так, чтобы выполнялись условия

$$\frac{dF_{\text{оп}}^{x_{n-r+i}}}{dt} < 0, \quad r \leq n; \quad F_{\text{оп}}^{x_i} \leq F_{\text{оп}}^{\text{э}x_i}; \quad i = \overline{1, n-r}, \quad F_{\text{оп}} < F_{\text{оп}}^{\text{э}}, \quad (6)$$

где  $F_{\text{оп}}^{\text{э}}$  – допустимое эксплуатационное значение.

Как показано в работе [6], интегральная информативная функция опасности критических режимов полета вертолета может быть построена по нескольким (двум, трем) параметрам, определяющим безопасность этих режимов полета.

Для примера, на границах особых ситуаций ограничения по приборной скорости  $V_{\text{пр}}^{\text{прочн}}$ , обусловленные летными ограничениями по прочности конструкции вертолета, можно представить в координатах высоты полета  $H$  и истинной воздушной скорости  $V_{\text{ист}} = V_{\text{в}}$  в виде [6]

$$V_{\text{пргр}}^{\text{прочн}} = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{\tau H}{T_0}\right)^{1/\tau R}}{1 - \frac{\tau}{T_0} H + \frac{\Delta T}{T_0}}} \cdot V_{\text{вгр}}^{\text{прочн}}, \quad (7)$$

где  $T_0 = 288,15 \text{ К}$  – абсолютная температура воздуха при  $H = 0$ ,  $\tau = 0,0065 \text{ К/м}$  – температурный градиент;  $\Delta T = T_{\text{н факт}} - T_{\text{н}}$  – превышение фактической температуры невозмущенной атмосферы на высоте  $H$  по отношению к стандартной атмосфере;  $R=29,27 \text{ м/град}$  – газовая постоянная.

При этом формализацию и построение областей особых ситуаций и безопасных режимов полета вертолета целесообразно проводить с использованием вектора градиента интегральной информативной функции опасности режима полета и кривых равной безопасности [1].

Используя рассмотренную методику построения информативных функций опасности для различных значений  $F_{\text{оп}} = \text{const}$ , можно построить линии равной опасности режима полета вертолета, обусловленного летными ограничениями по прочности, например, как показано на рисунке 1.

В каждой точке линии равной опасности  $F_{\text{оп}} = \text{const}$ , например, в точке 1 в плоскости изменения характерных параметров полета  $V_{\text{в}}$  и  $H$  можно построить вектор  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}^{\text{пп}}$  ( $V_{\text{в}}$  и  $H$ ), обратное направление которого позволяет выбрать приоритетные направления и темпы изменения параметров  $V_{\text{в}}$  и  $H$ , при которых выход из возникшей особой ситуации на данном режиме полета и в данный момент времени будет происходить наиболее эффективно с точки зрения безопасности.

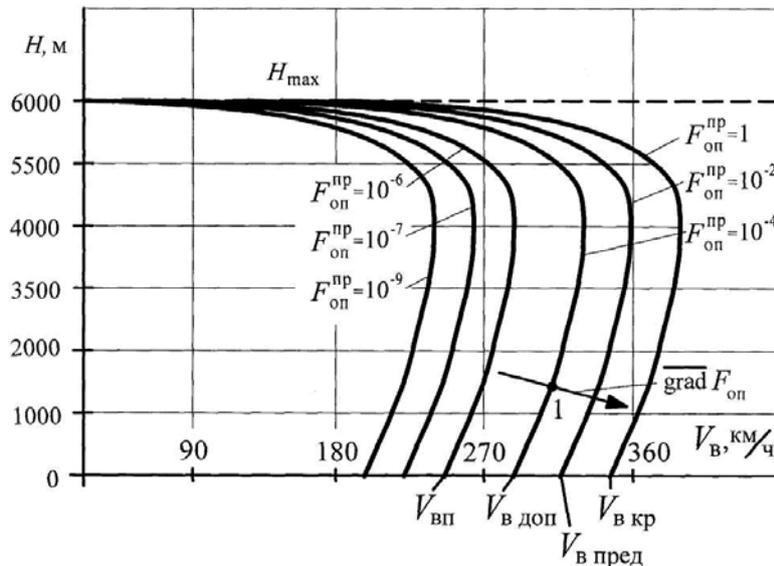


Рисунок 1 – Иллюстрация линий равной опасности режима полета вертолета по летным ограничениям на прочность конструкции

К рассмотренным летными ограничениями по прочности конструкции вертолета близки ограничения  $V_{\text{пр max доп}}^{\mu}$  по приборной скорости  $V_{\text{пр}}$ , связанные с режимом обтекания несущего винта и допустимыми значениями коэффициента режима работы  $\mu$  [6]:

$$V_{\text{пр max доп}}^{\mu} = \omega_{\text{нв}} r_{\text{л}} \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} \mu_{\text{доп}}}, \quad (8)$$

где  $\omega_{\text{нв}} = \frac{\pi n_{\text{нв}}}{30}$  – угловая скорость вращения лопасти несущего винта;  $n_{\text{нв}}$  – число оборотов в минуту лопасти несущего винта;  $r_{\text{л}}$  – радиус лопасти.

С учетом того, что коэффициент режима работы несущего винта определяется как [2]

$$\mu = \frac{V_{\text{в}} \cos A}{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}}} \approx \frac{V_{\text{в}}}{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}}},$$

где  $A$  – угол атаки несущего винта, который не превышает 10 угл. град.;  $\omega_{\text{нв}}$  – угловая ско-

рость вращения несущего винта;  $r_{л}$  – радиус лопасти, ограничение вида (8) можно представить в виде

$$V_{\text{пр max доп}}^{\mu} = \omega_{\text{нв}} r_{л} \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} \frac{V_{\text{в max доп}}^{\mu}}{\omega_{\text{нв}} r_{л}}} = \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1}} V_{\text{в max доп}}^{\mu}, \quad (9)$$

где  $V_{\text{в max доп}}^{\mu}$  – максимально допустимая истинная воздушная скорость полета вертолета, соответствующая максимально допустимому значению  $\mu_{\text{доп}}$  коэффициента режима работы несущего винта.

Следовательно, на границах  $H_i$  особых ситуаций, ограничения по приборной скорости  $V_{\text{пр.гр}}$ , обусловленные летными ограничениями на режим обтекания несущего винта, будут иметь вид

$$V_{\text{пр.гр}}^{\mu} = -V_{\text{пр.гр}}^{\mu} = \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1}} V_{\text{в.гр}}^{\mu} = f(V_{\text{в.гр}}, H). \quad (10)$$

Графики линий равной опасности  $F_{\text{оп}}^{\mu}(V_{\text{в}}, H) = \text{const}$  такого режима полета вертолета по виду будут близки к рисунку 1.

Ограничения  $V_{\text{пр max доп}}^{\mu}$  по приборной скорости, связанные с летными ограничениями на число Маха наступающей лопасти  $M_{л доп}$  и возрастанием волнового сопротивления несущего винта, имеют вид

$$V_{\text{пр max доп}} = \sqrt{kgRT_0} \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1}} M_{л доп} - \frac{\omega_{\text{нв}} r_{л}}{\sqrt{kgRT_0} \sqrt{1 - \frac{\tau}{T_0} H}}, \quad (11)$$

где  $k = 1,4$  – показатель адиабаты для воздуха;  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

На границах особых ситуаций ограничения по приборной скорости, обусловленные летными ограничениями на число Маха лопасти  $M_{л гр}$  будут иметь вид

$$V_{\text{пр.гр}}^{M_{л}} = \sqrt{kgRT_0} \sqrt{\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1}} M_{л гр} - \frac{\omega_{\text{нв}} r_{л}}{\sqrt{kgRT_0} \sqrt{1 - \frac{\tau}{T_0} H}}, \quad (12)$$

по которым можно построить информативную функцию опасности режима полета  $F_{\text{оп}}^{M_{л}}(V_{\text{пр}}, H)$  и кривые линий равной опасности  $F_{\text{оп}} = \text{const}$ .

Летные ограничения по максимально допустимой несущей способности несущего винта вертолета определяются отношением  $\frac{C_T}{\sigma}$  (где  $C_T$  – коэффициент тяги несущего винта;

$\sigma = \frac{S_{л} k_{л}}{F}$  – коэффициент заполнения;  $S_{л}$  – площадь одной лопасти;  $k_{л}$  – число лопастей несущего винта).

Отношение  $\frac{C_T}{\sigma}$  можно выразить через вертикальную перегрузку  $n_y$  [6]:

$$\frac{C_T}{\sigma} = \frac{2n_y}{\rho_{\text{н}} (\omega_{\text{нв}} r_{л})^2 F} = \frac{2}{\rho_{\text{н}} (\omega_{\text{нв}} r_{л})^2 F} n_y.$$

Выражая коэффициент  $\mu$  режима работы несущего винта через истинную воздушную скорость  $V_{\text{в}}$  границы эксплуатационных режимов несущего винта вертолета можно перестроить в координатах  $n_y$  и  $V_{\text{в}}$ :

$$n_{y\text{гр}} = \frac{\rho_H (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2}{2} F\left(\frac{C_T}{\sigma}\right)_{\text{гр}} ; \quad V_{\text{вгр}} = (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}}) \mu_{\text{гр}} .$$

С учетом изменения плотности воздуха  $\rho_H$  при изменении высоты полета  $H$ , определяемого соотношением

$$\rho_H = \rho_0 \frac{P_H T_0}{P_0 T_H} = \rho_0 \frac{P_0 \left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} \cdot T_0}{P_0 T_0 \left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)} = \rho_0 \left(1 - \frac{\tau}{T_0}\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} ,$$

граничные значения  $n_{y\text{гр}}$  вертикальной перегрузки принимают вид

$$n_{y\text{гр}}^{\text{нс}} = \frac{\rho_0 (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2}{2} F\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} \left(\frac{C_T}{\sigma}\right)_{\text{гр}} . \quad (13)$$

С учетом зависимости  $\left(\frac{C_T}{\sigma}\right) = f(\mu, \omega_z)$ , приведенной на рисунке 2, связь граничных значений  $n_y$  и  $V_{\text{в}}$  в особых ситуациях, связанных с летными ограничениями на несущую способность несущего винта, можно представить в виде

$$\begin{aligned} n_{y\text{гр}}^{\text{нс}} &= \frac{\rho_0 (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2}{2} F\left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} m(\omega_z) \frac{1}{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}}} V_{\text{вгр}}^{\text{нс}} = \\ &= \rho_0 \frac{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}} F}{2} \left(1 - \frac{\tau}{T_0} H\right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} m(\omega_z) V_{\text{вгр}}^{\text{нс}} , \end{aligned} \quad (14)$$

где  $m(\omega_z)$  – коэффициент связи отношения  $\frac{C_T}{\sigma}$  с коэффициентом режима работы несущего винта  $\mu$ , зависящий от угловой скорости  $\omega_z$ ;  $n_{y\text{гр}}^{\text{нс}}$  и  $V_{\text{вгр}}^{\text{нс}}$  – граничные значения вертикальной перегрузки и истинной воздушной скорости, соответствующие летным ограничениям на несущую способность несущего винта в  $H_i$  особой ситуации.

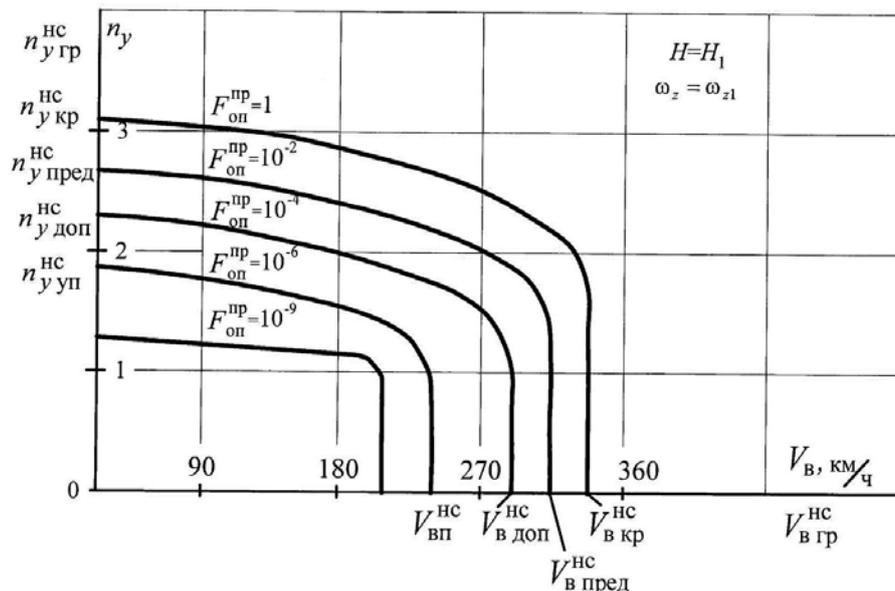


Рисунок 2 – Граничные значения критических параметров и линий равной опасности режима полета по летным ограничениям на несущую способность несущего винта вертолета

Тогда для конкретного значения угловой скорости вращения вертолета относительно боковой оси  $\omega_z = \omega_1$  на данной высоте полета  $H = H_1$  можно построить линии равной опасности режима полета  $F_{\text{оп}}^{\mu}(n_y, V_b) = \text{const}$  с учетом ограничений на несущую способность несущего винта, например, как показано на рисунке 2.

Летные ограничения при интенсивном маневрировании вертолета с большими вертикальными перегрузками связаны с возникновением явления «подхвата», которое сопровождается резким изменением угла тангажа  $\vartheta$  на кабрирование, креном вертолета на угол  $\gamma \geq 30^\circ$  и уменьшением частоты вращения несущего винта до 20 % [2].

Максимально допустимая вертикальная перегрузка  $n_{y \text{ max доп}}$  зависит от истинной воздушной скорости  $V_b$ , высоты полета  $H$  и угловой скорости  $\omega_z$  вращения вертолета относительно боковой оси и при явлении «подхвата» будет определяться соотношением [6]

$$n_{y \text{ max доп}}^{\text{подхват}} = \left[ \frac{\rho_H (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2 F}{2} \left( \frac{C_T}{\sigma} \right)_{\text{max}} + \frac{T_{\text{плл}}}{\sigma} \right] = \left[ \frac{\rho_H (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2 F}{2} m(\omega_z) \mu_{\text{доп}} + \frac{T_{\text{плл}}}{\sigma} \right] =$$

$$= \frac{\rho_H (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2 F}{2} m(\omega_z) \frac{V_{\text{в доп}}^{\mu}}{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}}} + \frac{T_{\text{плл}}}{\sigma} = \frac{\rho_H (\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}})^2 F}{2} m(\omega_z) V_{\text{в доп}}^{\mu} + \frac{T_{\text{плл}}}{\sigma},$$

где  $T_{\text{плл}}$  – подъемная сила планера.

С учетом изменения плотности воздуха  $\rho_H$  с высотой полета граничные значения  $n_{y \text{ гр}}$  вертикальной скорости, определяющие границы особых ситуаций при возникновении явления «подхвата» можно представить в виде

$$n_{y \text{ гр}}^{\text{подхват}} = \rho_0 \frac{\omega_{\text{нв}} r_{\text{л}} F}{2} m(\omega_z) \left( 1 - \frac{\tau}{T_0} H \right)^{\frac{1}{\tau R} - 1} V_{\text{в гр}}^{\text{подхват}} + \frac{T_{\text{плл}}}{\sigma}, \quad (15)$$

где  $V_{\text{в гр}}^{\text{подхват}}$  – граничные значения истинной воздушной скорости, соответствующие  $H_c$  особым ситуациям при возникновении явления подхвата.

По граничным значениям  $n_{y \text{ гр}}^{\text{подхват}}$  и  $V_{\text{в гр}}^{\text{подхват}}$ , соответствующим нормальным эксплуатационным условиям, усложненным условиям полета, сложной, аварийной и критической ситуациям, можно построить информативную функцию опасности  $F_{\text{оп}}^{\text{подхват}}(V_b, H, \omega_z)$ , кривые линий равной опасности  $F_{\text{оп}} = \text{const}$  и вектор  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}(V_b, H, \omega_z)$  при возникновении явления «подхвата» вертолета.

Если информативная функция опасности режима полета  $F_{\text{оп}}(x_1, x_2, x_3)$  зависит от трех параметров, то при построении поверхности изменения вектора  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}(x_1, x_2, x_3)$  целесообразно задать ее в виде

$$\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}(x_1, x_2, x_3) = \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_1} \bar{i} + \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_2} \bar{j} + \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_3} \bar{k}. \quad (16)$$

В качестве дополнительной информации можно получить выражение для полной производной обобщенной информативной функции опасности режима полета вертолета в виде

$$\frac{dF_{\text{оп}}}{dt} = \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_1} \frac{dx_1}{dt} + \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_2} \frac{dx_2}{dt} + \frac{dF_{\text{оп}}}{dx_3} \frac{dx_3}{dt}. \quad (17)$$

С учетом того, что в процессе вывода вертолета из зоны особых ситуаций можно принять, что значения  $\frac{dF_{\text{оп}}}{dx_1}$ ,  $\frac{dF_{\text{оп}}}{dx_2}$  и  $\frac{dF_{\text{оп}}}{dx_3}$  изменяются незначительно, то из соотношения (17)

можно определить требуемые темпы изменения  $\frac{dx_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \frac{dx_3}{dt}$  фазовых координат  $x_1, x_2, x_3$  вертолета для вывода вертолета из возникшей особой ситуации и выполнения условия

$$\frac{dF_{оп}}{dt} < 0. \quad (18)$$

Следовательно, исследование поведения полной производной информативной функции опасности режима полета вертолета позволяет принять обоснованные решения по построению алгоритмов штурвального и автоматического управления, обеспечивающих наискорейший выход из возникшей особой ситуации или решение по переходу на более безопасный режим полета. При этом формализованные линии или поверхности равного уровня безопасности могут быть использованы в канале информационной поддержки экипажа в возникающих особых ситуациях.

Для иллюстрации возможности использования интегральной информативной функции опасности  $F_{оп}(t)$  и вектора  $\overline{grad} F_{оп}$  в каналах информационно-управляющей системы предотвращения критических режимов вертолета рассмотрим режим вертикального снижения вертолета с малыми продольными и боковыми воздушными скоростями, при котором возможно возникновение критического режима «вихревое кольцо».

Границы летных ограничений на режиме «вихревое кольцо» определяются выражением вида [6]

$$V_{yгр} = V_{vy} + k_x \delta_x V_{vx} + k_z \delta_z V_{vz}, \quad (19)$$

где  $V_{vx}, V_{vy}, V_{vz}$  – продольная, вертикальная и боковая составляющие вектора  $\overline{V}_B$  истинной воздушной скорости вертолета;  $V_y$  – вертикальная скорость снижения вертолета;  $\delta_x, \delta_z$  – перемещения ручки циклического шага при продольном и боковом управлении;  $k_x, k_z$  – постоянные коэффициенты.

На рисунке 3 в координатах вертикальной скорости  $V_y$  и горизонтальной воздушной скорости  $V_{xz} = \sqrt{V_{vx}^2 + V_{vz}^2}$  для различных особых ситуаций  $H_i$  режима «вихревое кольцо» построены линии одинакового уровня информативной функции опасности  $F_{оп}^{BK} = \text{const}$  и траектория изменения функции  $F_{оп}^{BK}(t)$  при движении вертолета.

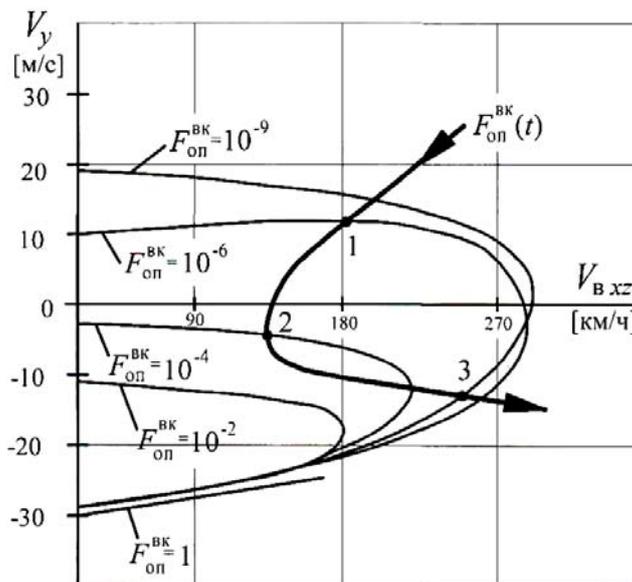


Рисунок 3 – Иллюстрация кривых равной опасности, траектории изменения и градиента интегральной информативной функции опасности режима «вихревое кольцо»

В каждой точке траектории изменения интегральной информативной функции опасности  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  можно построить вектор  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}^{\text{БК}}$  (линии нормали к соответствующей кривой равной опасности), который будет указывать направление наибольшего роста функции  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(V_y, V_{xz})$ .

Как видно из рисунка 3, в точке 1 направления вектора  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}^{\text{БК}}$  и производной  $dF_{\text{оп}}^{\text{БК}}/dt$  практически совпадают, что указывает на ожидаемое возрастание функции  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  и снижение уровня безопасности полета вертолета. В точке 2 обобщенная информативная функция опасности достигает своего наибольшего значения, при этом вектор  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}^{\text{БК}}$  ортогонален производной  $dF_{\text{оп}}^{\text{БК}}/dt$ . При дальнейшем движении вертолета производная  $dF_{\text{оп}}^{\text{БК}}/dt$  становится отрицательной, что свидетельствует об уменьшении интегральной функции опасности  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  до значения, равного в точке 3  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}} \approx 10^{-9}$  и, соответствующем нормальным эксплуатационным условиям полета вертолета.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в каждый момент времени информация о значении интегральной информативной функции опасности  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  и его положении на соответствующей линии уровня равной опасности позволяет указать направление, противоположное значению вектора  $\overline{\text{grad}} F_{\text{оп}}^{\text{БК}}$  в данной точке, определяющее характер изменения параметров движения вертолета  $V_y$  и  $V_{xz}$ , при котором уменьшении информативной функции  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  и повышение уровня безопасности режима «вихревое кольцо» будут происходить наиболее быстрым темпом.

Если линии уровня равной опасности  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}} = \text{const}$  и траекторию изменения функции  $F_{\text{оп}}^{\text{БК}}(t)$  представить в качестве визуальной и директорной информации при пилотировании вертолета, то в режиме «вихревое кольцо» она может служить дополнительным и наглядным указанием пилоту – как управлять вертолетом в данный момент времени, возможно ли с учетом возможностей (запасов) управления по параметрам  $V_y$  и  $V_{xz}$  обеспечить заданный уровень безопасности полета в дальнейшем, как понизить уровень опасности возникающей особой ситуации.

Рассмотренные частные и интегральные информативные функции опасности режима полета вертолета, полная производная и интегральной обобщенной информативной функции опасности по характерным параметрам конкретного критического режима полета учитывают регламентируемые НЛГВ степени опасности и вероятности возникновения той или иной особой ситуации, отражают динамику полета вертолета и вызываемое ею изменение уровня опасности режима полета, позволяют решать задачи анализа и синтеза каналов обнаружения, предупреждения и управления системы предотвращения критических режимов полета вертолета, решать задачи информационной поддержки экипажа в особых ситуациях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдаткин, В.М. Методы и средства построения бортовых информационно-управляющих систем обеспечения безопасности полета / В.М. Солдаткин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 350 с.
2. Браверманн, А.С. Динамика вертолета: Предельные режимы полета / А.С. Браверманн, А.П. Вайнтруб. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
3. Петросян, Э.А. Аэродинамика соосного вертолета: Балансировка. Устойчивость. Управление, маневрирование, автоматическая стабилизация и управление / Э.А. Петросян. – М.: Полигон-Пресс, 2004. – 816 с.
4. Харин, Е.Г. Летные испытания систем пилотажно-навигационного оборудования / Е.Г. Харин, П.М. Цетков, В.К. Волков. – М.: Машиностроение, 1986. – 136 с.
5. Нормы летной годности гражданских вертолетов. М.: ЦАГИ, 1987. 350 с.
6. Деревянкин, В.П. Особенности системы предупреждения критических режимов полета вертолета / В.П. Деревянкин, О.О. Кузнецов, В.М. Солдаткин // Известия вузов. Авиационная техника. 2012. – №3. – С. 51-55.

**Кузнецов Олег Игоревич**

ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»

Аспирант Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ,

Заместитель главного конструктора

Тел. +7(8422) 43-43-76

E-mail: ukbplkv@mv.ru

**Солдаткин Владимир Михайлович**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборы и информационно-измерительные системы»

Тел. +7(8432) 236-51-21

E-mail: xli@piis.kstu-kai.ru

O.I. KUZNETSOV, V.M. SOLDATKIN

**METHOD OF ANALYSIS OF LEVEL OF DANGER OF CRITICAL MODES OF FLIGHT OF THE HELICOPTER**

*Characteristic values of parameters are considered at approach to critical modes of flight of the helicopter. reveal a technique of construction private and integrated informative functions of danger of the current mode of flight and possibility of their use at the solution of tasks of the prevention, information support of crew and creation of algorithms of management on a helicopter conclusion from the arisen emergency situation.*

**Keywords:** *helicopter, critical modes, danger level, analysis, informative functions, construction, use.*

**BIBLIOGRAPHI**

1. Soldatkin, V.M. Metody i sredstva postroeniya bortovyh informacionno-upravljajushhih sistem obespechenija bezopasnosti poleta / V.M. Soldatkin. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta, 2004. 350 s.
2. Bravermann, A.S. Dinamika vertoleta: Predel'nye rezhimy poleta / A.S. Bravermann, A.P. Vajntруб. – М.: Mashinostroenie, 1988. – 280 s.
3. Petrosjan, Je.A. Ajerodinamika soosnogo vertoleta: Balansirovka. Ustojchivost'. Upravlenie, manevrirovanie, avtomaticheskaja stabilizacija i upravlenie / Je.A. Petrosjan. – М.: Poligon-Press, 2004. – 816 s.
4. Harin, E.G. Letnye ispytaniya sistem pilotazhno-navigacionnogo oborudovaniya / E.G. Harin, P.M. Cetkov, V.K. Volkov. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 136 s.
5. Normy letnoj godnosti grazhdanskih vertoletov. М.: CAGI, 1987. 350 s.
6. Derevjankin, V.P. Osobennosti sistemy preduprezhdenija kriticheskikh rezhimov poleta vertoleta / V.P. Derevjankin, O.O. Kuznecov, V.M. Soldatkin // Izvestija vuzov. Aviacionnaja tehnika. 2012. – №3. – S. 51-55.

**Kuznetsov Oleg Igorevich**

JSC Ulyanovsk Design Office of Instrument Making

Deputy chief designer

The graduate student of the Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI

Ph. +7 (8422) 43-43-76

E-mail: ukbplkv@mv.ru

**Soldatkin Vladimir Mihaylovich**

The Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI

Ph. Dr., professor, head of the department "Devices and information-measuring systems"

Ph. +7 (8432) 236-51-21

E-mail: xli@piis.kstu-kai.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БЕНЗИНА

*В статье рассматривается математическая модель экспрессного контроля качества бензина, которая основана на косвенном определении октанового числа бензина по емкости измерительного преобразователя. Предлагается решение задачи определения октанового числа с учетом его температуры, а также выявление различных примесей по величине его электрической проводимости.*

**Ключевые слова:** качество бензина, октановое число, диэлькометрический контроль.

В настоящее время постоянно растут требования к качеству бензина, от которого зависят технические параметры двигателя, его надежность и долговечность, и для современных автомобилей необходимо высококачественное и чистое топливо. Качество бензина зависит от множества факторов, важнейшим из которых является его октановое число. Использование диэлькометрического способа контроля позволяет определять октановое число бензина и наличие в нем примесей.

Задачу определения октанового числа бензина можно реализовать посредством измерения диэлектрической проницаемости  $\epsilon'_x$  в рассматриваемой полосе частот  $f_H \div f_B$  при условии обеспечения минимальной погрешности измерения  $\delta \rightarrow \min$ .

Основные свойства бензина характеризуются относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon \approx 2,1 \div 2,3$  и удельной электрической проводимостью  $\sigma \approx (10^{-17} \div 10^{16})$  См/м. Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  зависит от частоты измерения, при увеличении которой значение  $\epsilon$  уменьшается из-за наличия в бензине электрически ассиметричных инерционных ассоциаций, которые с повышением частоты поля не успевают смещаться [2].

Физическая природа величин  $\epsilon$  и  $\sigma$  автомобильных бензинов различна, и связь между ними зависит от состава бензина, его температуры, наличия примесей и т.д. По значению проводимости  $\sigma$  можно выявлять наличие электропроводящих примесей в бензине. При этом нужно разделять тракты измерения диэлектрической проницаемости и удельной проводимости, а также уменьшать взаимное влияние этих параметров друг на друга. Также нужно учитывать не только диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ , но и температуру контролируемого топлива  $T_x$ .

В соответствии со сформулированной задачей исследования обобщенная модель экспрессного контроля качества бензина включает в себя два первичных измерительных преобразователя (ИП) и генераторное (ГУ) и измерительное (ИУ) устройства (рис. 1).

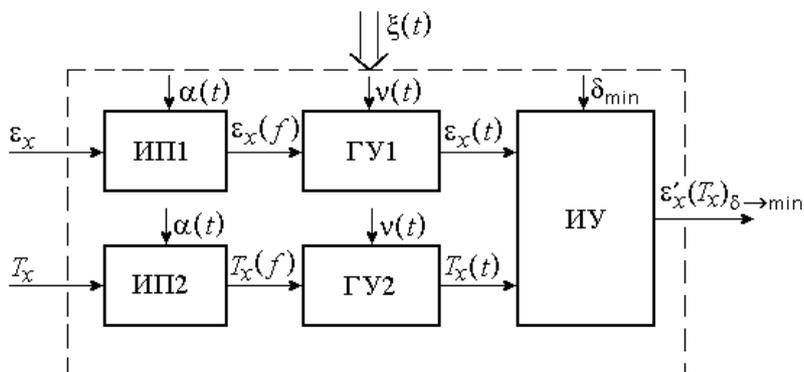


Рисунок 1 – Обобщенная модель экспрессного контроля качества бензина

Контролируемые параметры  $\epsilon_x$  и  $T_x$  поступают на вход соответствующих первичных измерительных преобразователей ИП1 и ИП2, где преобразуются в частотно-зависимые величины  $\epsilon_x(f)$  и  $T_x(f)$  посредством изменения резистивно-емкостных параметров изме-

рительных двухполюсников. Генераторные устройства ГУ1 и ГУ2, реагируют на воздействия пропорциональным изменением частоты выходных напряжений  $\varepsilon_x(t)$  и  $T_x(t)$ , значения которых в дальнейшем могут быть измерены с помощью измерительного устройства (ИУ).

Измерительные преобразователи ИП1 и ИП2 содержат колебательные контуры с емкостными датчиками, поэтому изменение октанового числа или температуры вызывает пропорциональное изменение резонансной частоты соответствующего контура и, как следствие, изменение амплитуды, частоты и фазы выходных колебаний генераторов ГУ1 и ГУ1. На изменения этих параметров реагирует измерительное устройство ИУ, которое вычисляет по заданному алгоритму значение октанового числа бензина  $\varepsilon'_x(T_x)$ .

В общем случае точность измерительного устройства характеризует относительная погрешность, определяемая выражением:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n S_{y/x_i} \cdot (\Delta x_i / x_i)}{S_{y/x} \cdot (\Delta x / x)} \cdot 100 \text{ \%}.$$

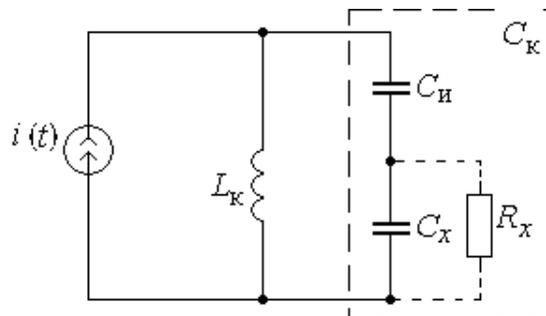
Реальные измерения происходят в условиях воздействия на прибор различных помех и шумов  $\xi(t)$ , которые ухудшают точность и стабильность измерений. Они имеют в общем случае случайный характер и их можно условно разделить на три группы.

Первая группа побочных влияний  $\alpha(t)$  относится к первичному измерительному преобразователю. Это зависимость показаний ИП от множества сопутствующих неконтролируемых параметров, а также от нелинейности характеристики преобразования. Все погрешности измерений, связанные с этими факторами, имеют достаточно сложный характер. Они зависят от конструктивного исполнения измерительного преобразователя и наличия в нем паразитных элементов, от характера измеряемой величины, влияния внешних факторов, чувствительности ИП к изменениям контролируемого параметра и к паразитным воздействиям.

Вторая группа влияющих факторов  $\nu(t)$  относится к генераторному устройству. Это нестабильность работы, нелинейная зависимость амплитуды, частоты или фазы выходного напряжения ГУ от параметров ИП, различные шумы и помехи, дрейф нуля усилителей и пр. Погрешности генераторного устройства зависят от вида резонансной системы, схемы и типа активного нелинейного элемента, стабильности питающих напряжений и элементов схемы.

Последнюю группу случайных воздействий составляют погрешности  $\delta(t)$  измерения амплитуды, частоты или фазы измерительным устройством ИУ. Данные погрешности зависят от методики проведения измерений и конкретной схемы прибора.

Свойства измерительного преобразователя на основе колебательного контура с емкостным датчиком можно оценить по его эквивалентной схеме, показанной на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Эквивалентная схема резонансного измерительного преобразователя*

Условие баланса в этой схеме достигается при равенстве частоты входного тока частоте резонанса ( $f_B = f_P$ ), когда выражение для резонансной частоты  $f_P$  имеет вид:

$$f_P = 1 / 2\pi \sqrt{L_K C_K}, \tag{1}$$

где  $L_K$  – индуктивность колебательного контура;  $C_K = C_{II} \cdot C_X / (C_{II} + C_X)$  – полная емкость измерительной цепи;  $C_X$  – емкость датчика с контролируемым материалом;  $C_{II}$  – емкость изоляции электродов датчика или зазор между электродами и контролируемым материалом.

Так как емкость изоляции датчика значительно больше измеряемой емкости, то полную емкость измерительной цепи можно определить приближенной формулой

$$C_K \approx C_X \cdot \quad (2)$$

Информацию об октановом числе несет емкость датчика, заполненного контролируемым топливом, которая связана с его диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  выражением [1]

$$C_X = g \epsilon_X \epsilon_0, \quad (3)$$

где  $g$  – геометрический фактор, зависящий от формы и размеров электродов датчика;  $\epsilon_X$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала;  $\epsilon_0 \approx 8,85$  пФ/м – диэлектрическая проницаемость вакуума.

Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_X$  зависит от совместного влияния диэлектрической проницаемости топлива  $\epsilon_T$ , диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{II}$  и относительного объема  $k_{II}$  примесей, диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{прис}$  и относительного объема  $k_{прис}$  присадок, поэтому общее выражение для определения диэлектрической проницаемости топлива можно записать следующим образом:

$$\epsilon_X = \epsilon_T + k_{II} \epsilon_{II} + k_{прис} \epsilon_{прис} \cdot \quad (4)$$

Согласно [2], измерение октанового числа выполняется на постоянной температуре. Так как диэлектрическая постоянная углеводородного топлива зависит от температуры  $T_X$ , то в выражение (1) следует внести поправочный температурный коэффициент:

$$C_X(T_X) = K_{T\epsilon} \cdot g \cdot \epsilon_X \cdot \epsilon_0, \quad (5)$$

где  $K_{T\epsilon} = \frac{\epsilon_X - \epsilon_0}{\epsilon_X(T_X - T_0)} \cdot 100 \text{ \% } 1/^\circ\text{C}$ , где  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  – номинальное значение температуры.

Таким образом, решение задачи по определению неизвестного значения диэлектрической проницаемости  $\epsilon'_X(T_X)$  бензина сводится к измерению резонансной частоты контура  $f_P$ , которая при постоянной индуктивности контура ( $L_K = \text{const}$ ) определяется емкостью  $C_X(T_X)$ , а с учетом выражения (3) – диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_X$  контролируемой среды.

Для определения граничных значений частоты работы предложенной модели прибора контроля качества топлива необходимо проанализировать взаимосвязи октанового числа и диэлектрической проницаемости бензина с емкостью измерительного преобразователя.

Для определения граничных значений полосы измерения применяют нормированную амплитудно-частотную характеристику емкостного датчика, которая для колебательного контура, имеющего добротность  $Q = \omega_0 C/G$ , определяется следующим выражением [3]:

$$|\tilde{K}(f)| = 1 / \sqrt{1 + Q^2 (f/f_P - f_P/f)^2}.$$

На основании экспериментальных данных [2], можно построить зависимости октанового числа различных видов топлива от диэлектрической проницаемости (рис. 3).

Согласно полученным графикам (рис. 3), граничные значения диэлектрической проницаемости для топлива с разным октановым числом лежат в пределах от 2,08 до 2,295.

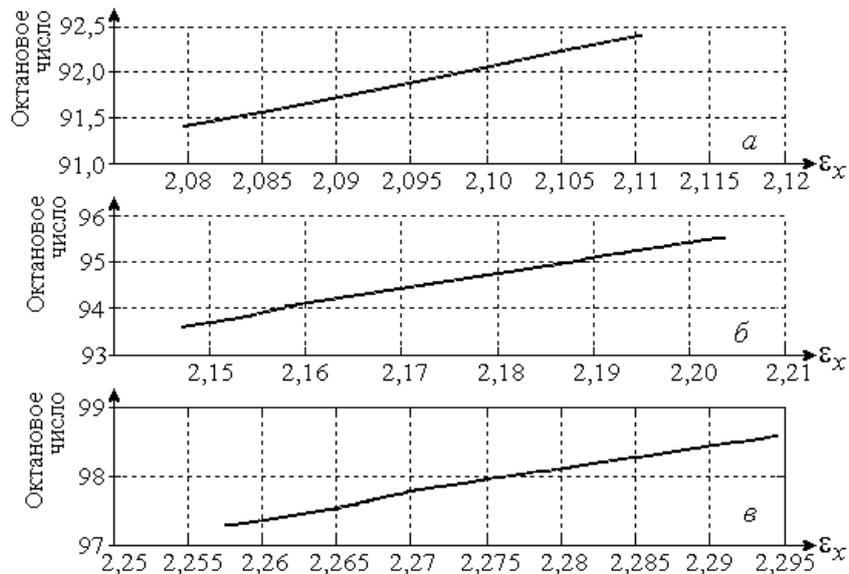


Рисунок 3 – Графики зависимости октанового числа от диэлектрической проницаемости: а – для 92 бензина, б – для 95 бензина, в – для 98 бензина

При среднем значении емкости датчика  $C_X = 190$  пФ можно проанализировать зависимость емкости датчика от диэлектрической проницаемости окружающей среды. С учетом нормированных значений октанового числа, определяемых при температуре бензина  $T_0 = 20$  °С, зафиксируем значение геометрического фактора  $g$ , и подставляя расчетные данные в формулу (3) построим зависимости, графики которых представлены на рисунке 4.

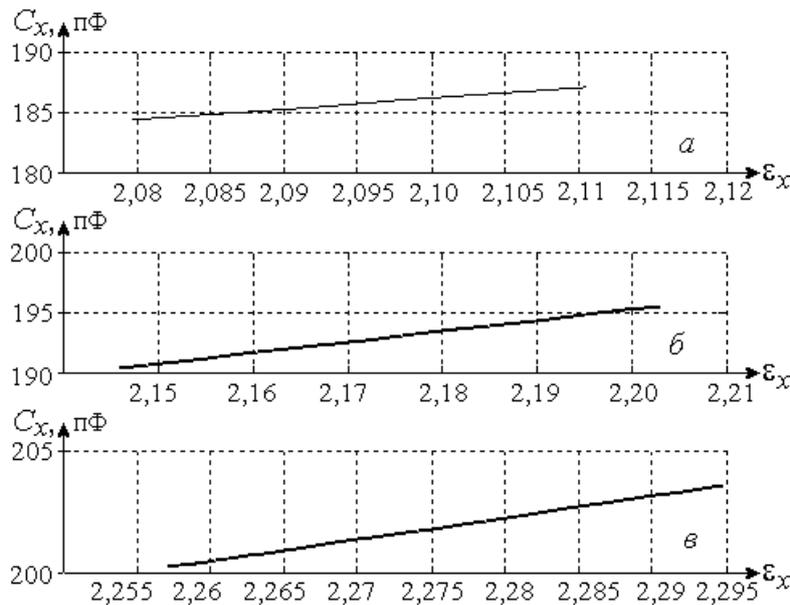


Рисунок 4 – Зависимости емкости преобразователя от диэлектрической проницаемости а – для 92 бензина, б – для 95 бензина, в – для 98 бензина

Анализ полученных графиков (рис. 4) показывает, что емкость измерительного преобразователя, предназначенного для допускового контроля качества бензина, изменяется в пределах от 184,4 пФ до 203,5 пФ, что соответствует диапазону контроля октанового числа по исследовательскому методу для марок бензина от 92 до 98.

При использовании в колебательном контуре индуктивности  $L_K = 136,5$  мкГн и датчика с емкостью  $C_X = 190$  пФ частота резонанса составляет 1 МГц для 92 бензина, 982 кГц для 95 бензина и 956 кГц для 98 бензина соответственно. Для измерения заданных значений октанового числа с помощью одного емкостного датчика необходимо, чтобы полоса пропус-

кания колебательного контура без перестройки его элементов составляла  $601 \div 1623$  кГц, а коэффициент прямоугольности должен быть не менее 6. Такое значение коэффициента прямоугольности можно получить при использовании двух взаимосвязанных LC-контуров.

Анализа работы емкостных датчиков в системе взаимосвязанных контуров проведен схемотехническим моделированием устройств на ПЭВМ по программе *Electronics Workbench Professional Edition (EWB)* при варьировании контролируемых RLC-параметров (рис. 5).

Для построения графиков амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик использовались модели генератора гармонических колебаний и характеристикиграфа (*Bode plotter*) с погрешностью моделирования менее 0,1 %.

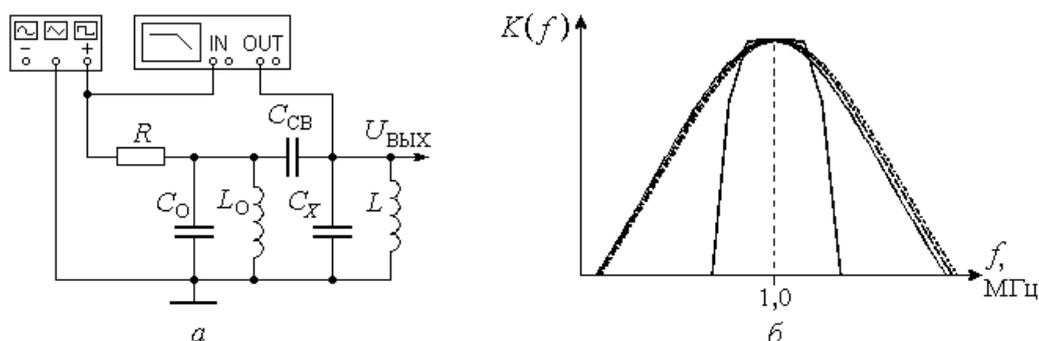


Рисунок 5 – Моделируемая схема (а) и ее амплитудно-частотная характеристика (б)

Согласно известным рекомендациям [3], для получения наиболее плоской формы амплитудно-частотной характеристики в полосе пропускания конденсатор связи  $C_{CB}$  между LC-контурами при одинаковых параметрах двух преобразователей  $L_0 = L$ ,  $C_0 = C_X$  выбирался в модели устройства (рис. 5, а) по условию  $C_{CB} \approx (0,03 \dots 0,04)C_0$ .

Подключение конденсатора связи понижает частоту резонанса  $f_p$ , которая при этом отличается от образцовой частоты настройки  $f_0$  каждого контура:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_0 + C_{CB})}} \approx f_0(1 - C_{CB}/2C_0).$$

Согласно полученным результатам моделирования, при изменении частоты возбуждающего сигнала в пределах полосы пропускания измерительного преобразователя на двух взаимосвязанных контурах амплитуда  $U_m$  его выходного сигнала остается практически постоянной и сравнительно слабо зависит от частоты. При этом фаза  $\varphi$  выходного напряжения на рабочем LC-контуре равномерно уменьшается в полосе пропускания от  $-180^\circ$  до  $-360^\circ$ , причем ее значение на резонансной частоте  $f_p$  составляет  $-270^\circ$ .

Следовательно, применение емкостных преобразователей в составе двух взаимосвязанных контуров позволяет обеспечить два существенных преимущества по сравнению с их подключением к отдельным LC-контурам, которые заключаются в следующем:

- при относительно малом изменении эквивалентной емкости  $C_X$  измерительного преобразователя (в диапазоне порядка  $\Delta C_X/C_X \approx \pm 2\%$ ) амплитуда выходного напряжения остается постоянной  $U_m \approx \text{const}$ , что позволяет уменьшить инструментальную погрешность при последующем детектировании амплитуды в измерительном устройстве ИУ;

- благодаря плоской форме амплитудно-частотной характеристики контуров с емкостной связью можно существенно повысить точность детектирования амплитудных значений выходного сигнала преобразователя в диапазоне измерения октанового числа бензина;

- вдвое расширяется диапазон изменения фазы выходного сигнала емкостного преобразователя в полосе пропускания взаимосвязанных контуров ( $\Delta\varphi \approx 180^\circ$ ) по сравнению с диапазоном отдельного LC-контура, для которого изменение фазы в полосе пропускания лежит в пределах от  $+45^\circ$  до  $-45^\circ$  и составляет всего  $\Delta\varphi \approx 90^\circ$ ;

- чувствительность частоты резонанса взаимосвязанных контуров к изменению эквивалентных LC-параметров емкостного преобразователя аналогична чувствительности единичного резонансного контура.

По значениям граничных частот  $f_H$  и  $f_B$  полосы пропускания измерительного преобразователя на двух взаимосвязанных контурах, полученных на его схемотехнической модели,

можно оценить максимальное значение относительной погрешности реального устройства при крайних значениях частоты. Достоверность подобного подхода обусловлена тем, что вершина резонансной кривой на частоте резонанса максимально линейна, поэтому основная погрешность измерения может появляться только на верхней и нижней граничных частотах полосы пропускания измерительного преобразователя с емкостным датчиком.

Установлено, что при расчетном значении емкости датчика  $C_{X.P} = 203,5$  пФ ее значение на верхней частоте составляет  $C_{X.B} = 209,6$  пФ при относительной погрешности

$$\delta_B = \frac{C_{X.P} - C_{X.B}}{C_{X.P}} \cdot 100 \% = 2,91 \%$$

Для нижней границы диапазона измерения  $C_{X.P} = 184,4$  пФ при реальной емкости  $C_{X.H} = 181,5$  пФ относительная погрешность измерения не превышает значения:

$$\delta_H = \frac{C_{X.P} - C_{X.H}}{C_{X.P}} \cdot 100 \% = 1,573 \%$$

Таким образом, максимальная погрешность измерения согласно результатам моделирования составляет 2,91 %, что меньше допустимого стандартного значения [4].

### **Выводы**

1. Предложенная математическая модель процесса экспрессного контроля качества бензина позволяет обеспечить измерение бензина с октановыми числами от 92 до 98 при максимальной относительной погрешности не превышающей 2,9 %.

2. Оценка разброса резонансной частоты измерения для топлива различного качества позволяет сделать заключение о невозможности использования в широкодиапазонных измерительных преобразователях емкостных датчиков на одиночных колебательных контурах.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Левшина, Е.С. Измерительные преобразователи / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – М.: Энергоатомиздат, – 1983.
2. Скворцов, Б.В. Приборы и системы контроля качества углеводородных топлив / Б.В. Скворцов, Н.Е. Конюхов, В.Н. Астапов. – Самара: Изд. СамГТУ. – 2006.
3. Попов, В.П. Основы теории цепей / В.П. Попов. – М.: Высшая школа. – 2000.
4. ГОСТ 8226. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа.

**Поляков Сергей Александрович**

Академия ФСО России, г. Орел

Адьюнкт

E-mail: polyakovsergei@yandex.ru

S.A. POLYAKOV

## **THE MATHEMATICAL MODEL OF EXPRESS QUALITY CONTROL GASOLINE**

*This article discusses mathematical model of express quality control gasoline which is based on the indirect determination of octane quality control. Offer a solution to the problem of determining the octane number in view of its temperature, as well as the presence of impurities on the value of its electrical conductivity.*

**Keywords:** *the quality of gasoline, octane number.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Levshina, E.S. Izmeritel'nye preobrazovateli / E.S. Levshina, P.V. Novickij. – М.: Jenergoatomizdat, – 1983.
2. Skvorcov, B.V. Pribory i sistemy kontrolja kachestva uglevodorodnyh topliv / B.V. Skvorcov, N.E. Konjuhov, V.N. Astapov. – Samara: Izd. SamGTU. – 2006.
3. Popov, V.P. Osnovy teorii cepej / V.P. Popov. – М.: Vysshaja shkola. – 2000.
4. GOST 8226. Topливо dlja dvigatelej. Issledovatel'skij metod opredelenija oktanovogo chisla.

**Polyakov Sergey Alexandrovich**

Academy of Federal Guard Service of Russian Federation, Orel

Trainee

E-mail: polyakovsegei@yandex.ru

# **ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА** **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 620.179.1.082.7:658.58

В.Н. ЧЕРНЫШОВ, В.В. МИШИН, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМИРОВАННОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ МИКРОКОНТАКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЖИМА ТРЕНИЯ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ**

*В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований нормированного интегрального времени микроконтактирования при различных внешних и внутренних условиях работы подшипника качения. Сделаны выводы об эффективности его применения для оценки режима трения трибосопряжений «тело качения – кольцо» подшипника качения.*

**Ключевые слова:** НИВ, режим трения, подшипник качения.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Подшипники качения в значительной степени определяют эксплуатационные показатели механических систем, в частности, показатели надежности. Из трибологии известно, что при жидкостной смазке (жидкостной режим трения) в трибосопряжениях «тело качения – кольцо» давление и температура распределены по контактной площадке более равномерно, что обеспечивает существенное снижение коэффициента трения, тепловыделения и интенсивности изнашивания поверхностей. В то же время ухудшение состояния смазочной пленки приводит к увеличению вероятности контактов, при которых происходит резкое возрастание местных касательных и нормальных напряжений, что приводит к росту интенсивности практически всех видов изнашивания. Таким образом, направление исследований, связанное с оценкой фактического вида смазки (или режима трения) в зонах трения работающего подшипника, представляет несомненный интерес, поскольку получаемая информация является исходной для прогнозирования остаточного ресурса объекта.

Вид смазки или режим трения в зоне фрикционного контакта определяется сформировавшимся при работе трибообъекта соотношением толщины смазочной пленки, разделяющей рабочие поверхности, и характеристик (высоты) микронеровностей контактирующих поверхностей. Наиболее распространенной и общепринятой количественной характеристикой вида трения в настоящее время считается коэффициент толщины пленки, предложенный Тэллианом [1]:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}, \quad (2)$$

где  $h$  – минимальная толщина смазочной пленки между телом качения и кольцом;  $Ra_{1(2)}$  – среднее арифметическое отклонения профиля поверхностей.

Данный критерий является базовым, на его основе определяются другие характеристики трения и изнашивания. При этом считается, что при  $\lambda > 3$  в трибосопряжении наблюдается режим жидкостного трения, толщина пленки при этом превышает суммарную высоту неровностей трущихся поверхностей и оказывается достаточной для исключения их непосредственного взаимодействия. При  $1 < \lambda < 3$  имеет место смешанный режим трения, при котором толщина пленки соизмерима с шероховатостью поверхностей и возможны их контакты. При  $\lambda < 1$  трибосопряжения работают в сухом (или граничном) режиме трения.

В качестве диагностического параметра, характеризующего вероятность контакта, в настоящее время используется среднее значение нормированного интегрального времени

микрoкoнтактирoвания (НИВ) [1], регистрируемое по импульсам сопротивления (проводимости) подшипника. Данный параметр обладает хорошей помехозащищенностью, относительной простотой и точностью измерения. Задачей данной работы является теоретическое и экспериментальное исследование эффективности применения НИВ для оценки режима трения трибосопряжений подшипника качения.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В работе [1], предложен ряд традиционных моделей, каждая из которых определяет диагностический параметр НИВ в вероятностном виде:

$$K = 1 - \frac{1}{T} \int_0^T \prod_{i=1}^Z (1 - P_{ni}(t) \cdot P_{ei}(t)) dt, \tag{2}$$

где  $T$  – время измерения НИВ;

$Z$  – число тел качения;

$P_{n(e)i}$  – вероятность контактирования наружного (внутреннего) кольца с  $i$ -м телом качения.

Контактирование по каждой из микронеровностей считается равновероятным и независимым, вероятность контактирования тела качения с кольцом предлагается определять как:

$$P_{i(a)} = 1 - (0,5 + \Phi(\lambda))^{A_{n(e)} \cdot q}, \tag{3}$$

где  $\Phi$  – нормированная интегральная функция Лапласа;

$A_{n(e)}$  – номинальная площадь пятна контакта;

$q$  – плотность неровностей на единицу площади.

Дальнейший синтез рассматриваемых моделей НИВ заключается в раскрытии с использованием моделей гидродинамических процессов и процессов контактирования твердых тел функциональной связи толщины смазочного слоя в зоне трения и площади пятна контакта от внешних внутренних (температура, статическая нагрузка, вибрация и удары, режимы смазывания, скоростные режимы и др.) и внутренних (геометрических параметров рабочих поверхностей деталей, работоспособность системы смазывания и др.) условий.

Основной недостаток принятого в [1] подхода заключается в использовании вероятности контактирования (3), которую при разработке методов диагностирования нет возможности непосредственно измерить. Её определяют косвенно, путем инструментального измерения сигнала активного сопротивления подшипника и оценки значения его интегральной функции при пороговом значении сопротивления, характеризующим одновременный контакт тела качения с обоими кольцами (100 Ом в работе [1]). При этом считается, что любой механический контакт двух противоположащих неровностей, суммарная высота которых больше толщины разделяющей поверхности смазочной пленки, является электропроводящим, а суммарное сопротивление контактов какого-либо тела качения одновременно с обоими кольцами в случае наличия механического контакта неровностей указанных поверхностей меньше указанного порогового значения.

Таким образом, адекватность известной диагностической модели ограничена.

В настоящей работе предлагается в качестве альтернативной упрощенной теоретической модели параметра НИВ использовать математическую модель активного сопротивления подшипника, приведенную в работе [2], моделирующую параметр НИВ по алгоритму, соответствующему широко применяемому инструментальному измерению. Данное обстоятельство предположительно позволит увеличить информативность и эффективность использования известного параметра НИВ для решения различных диагностических и прогностических задач.

Модель основывается на положениях теорий: контакта реальных поверхностей; электропроводности контакта двух шероховатых тел; контактной гидродинамики; упругости. Учитывает параметры микро- и макрогеометрии рабочих поверхностей, нагрузку подшипника и ее распределение по телам качения, упругие свойства материалов и деформации в зонах трения, свойства смазочного материала и т.п. Толщина пленки определяется при решении гидродинамической задачи с учетом кинематики сепаратора и центробежных сил инерции. Допущением модели является гипотеза об отсутствии неметаллических поверхностных пле-

нок и слоев при упруго-пластическом и пластическом деформировании микронеровностей, активное сопротивление в этих случаях определяется как сопротивление стягивания.

В отличие от традиционной вероятностной модели, в предлагаемой модели при расчете сопротивления учитывается различие в режимах трения нагруженных трибосопряжений «тело качения – кольцо», из-за неоднородного распределения пленки по телам качения и случайного характера микрогеометрии рабочих поверхностей, используя соответствующие модели электрического сопротивления контакта (табл. 1). При этом профиль шероховатости  $\{y_i\}$  моделируется отдельно для каждого трибосопряжения индивидуально в заданный момент времени.

Таблица 1 – Расчет сопротивления трибосопряжения

Условия		Расчетная зависимость
$0 < \lambda < 1$	$\psi < 0,6$ контакт упругий	$R_T = R_{CT} = 0,589 \cdot \rho \cdot \left( \frac{E'}{F \cdot R'} \right)^{\frac{1}{3}}$
	$0,6 < \psi < 1$ упругопластическая деформация	$R_T = R_{CT} = \frac{\rho \cdot \sqrt{\pi}}{2 \cdot \sqrt{z \cdot A_r}}$
	$\psi > 1$ контакт пластический	$R_T = R_{CT} = 0,899 \cdot \rho \cdot \left( \frac{HB}{F} \right)^{\frac{1}{2}}$
$1 \leq \lambda < 3$		$R_T = \frac{\rho_{CM}}{\rho} \cdot \frac{h}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_k} \cdot R_{CT}$
$3 \leq \lambda$		$R_T = \rho_{CM} \cdot \frac{h}{A_c}$

Примечание:

$$\psi = \frac{E'}{H} \sqrt{\frac{\sigma'}{R}}, \quad Ra = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i, \quad N = \left[ \frac{A_c}{S_1 \cdot S_2} \right]$$

$E'$  – приведенный модуль упругости;

$H = \min(H_1, H_2)$  – микротвердость материала;

$\sigma'$  – среднее квадратическое отклонение профиля относительно средней линии шероховатой поверхности;

$R$  – средний радиус закругления вершин;

$\{y_i\}$  – профиль шероховатости, имитируемый генератором случайных чисел на основе заданного закона распределения;

$[ ]$  – взятие целой части;

$A_c$  – контурная площадь контакта;

$S_{1(2)}$  – средний шаг местных выступов профиля поверхностей;

$\rho, \rho_{CM}$  – соответственно, удельное электрическое сопротивление металла и смазочной пленки;

$R'$  – приведенный радиус;

$F$  – нагрузка;

$z$  – число вероятных контактов;

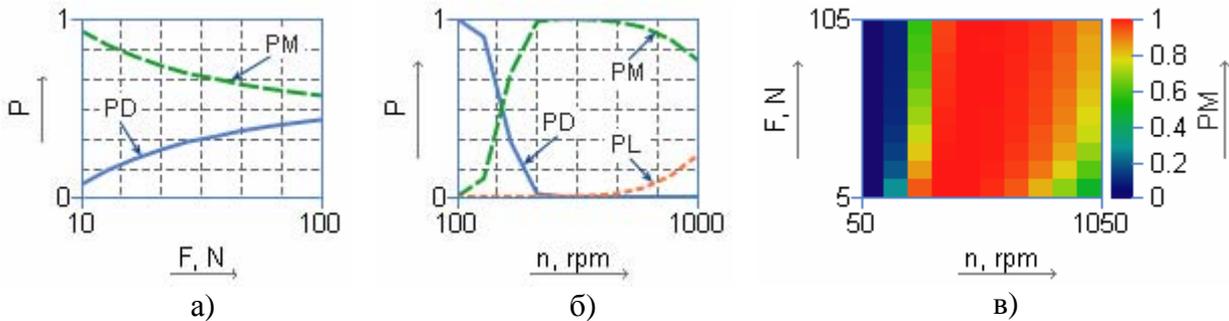
$A_r$  – фактической площади контакта двух шероховатых поверхностей;

$r_k$  – радиус пятна контакта;

$HB$  – твердость по Бринеллю.

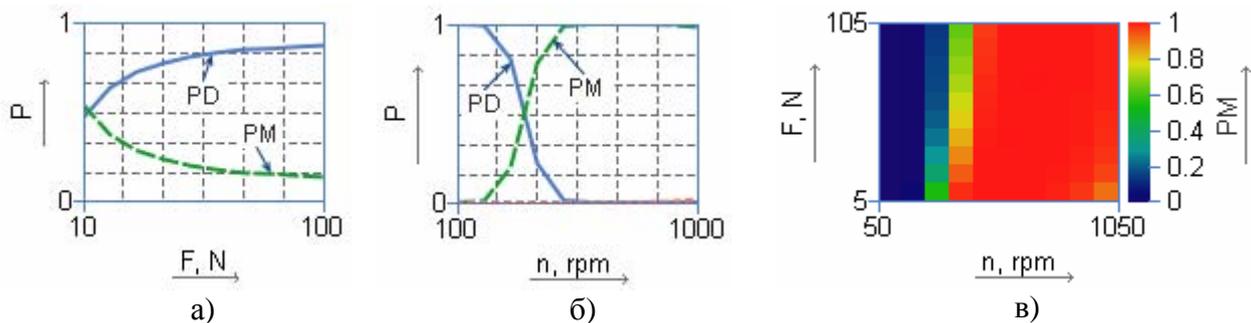
Модель строится по имитационному принципу, на выходе модели рассчитываются временные функции сигналов сопротивления и НИВ. Параллельно с расчетом сигнала сопротивления подшипника собирается статистика о модельном количестве трибосопряжений работающих в одном из трех режимов трения. Таким образом, становится возможно исследование взаимосвязи диагностического параметра НИВ и вектора вероятностей режимов трения трибосопряжений от внешних и внутренних условий работы.

В качестве объекта исследования с помощью вычислительного эксперимента выбран радиальный шариковый подшипник типа 1000900 ГОСТ 8338-75. На рисунках 3-а и 4-а приведены диаграммы изменения вероятности работы трибосопряжений «тело качения – кольцо» в режиме сухого *PD* и смешанного *PM* трения от радиальной нагрузки при частоте вращения 300 об/мин для различной микрогеометрии. Влияние на режим трения частоты вращения внутреннего кольца при нагрузке 50 Н показано на рисунках 3-б и 4-б. Диаграммы изменения вероятности смешанного режима трения от частоты вращения и радиальной нагрузки (рис. 3-в и 4-в) показывают, что режим трения в большей степени определяется частотой вращения, чем радиальной нагрузкой. Так при частотах до 300 об/мин доминирующим является сухой режим трения, от 300 до 800 об/мин доминирует смешанный режим трения. После 800 об/мин доминирующий режим определяется микрогеометрией и радиальной нагрузкой, например при частотах выше 900 об/мин,  $Ra = 0,08$  мкм и нагрузке до 30 Н трибосопряжения работают преимущественно при жидкостном режиме.



**Рисунок 3 – Изменение режима трения от условий работы подшипника качения при среднем отклонении профиля его рабочих поверхностей  $Ra = 0.08$  мкм**

- а) от радиальной нагрузки при частоте вращения внутреннего кольца 300 об/мин;
- б) от частоты вращения внутреннего кольца при радиальной нагрузке 50 Н;
- в) от частоты вращения и радиальной нагрузки

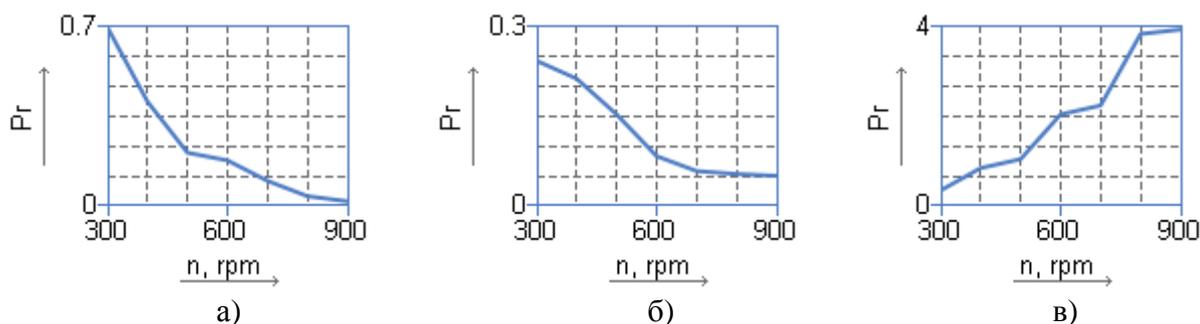


**Рисунок 4 – Изменение режима трения от условий работы подшипника качения при среднем отклонении профиля его рабочих поверхностей  $Ra=0.12$  мкм**

- а) – от радиальной нагрузки при частоте вращения внутреннего кольца 300 об/мин;
- б) – от частоты вращения внутреннего кольца при радиальной нагрузке 50 Н;
- в) – от частоты вращения и радиальной нагрузки

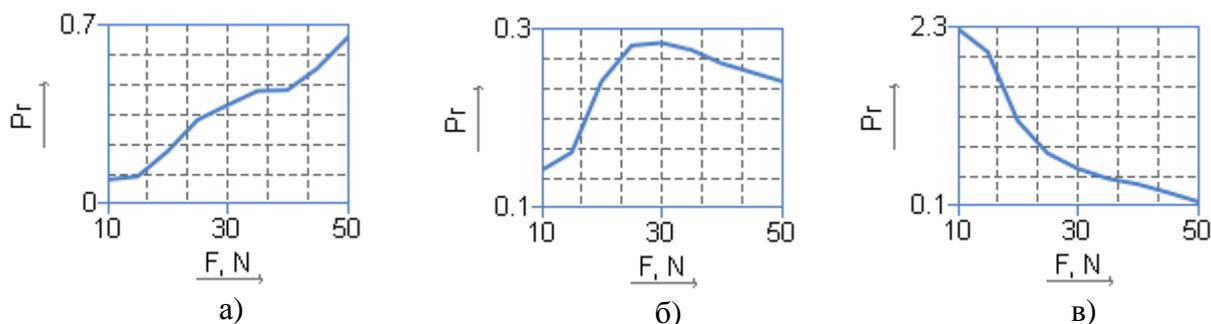
Для оценки информативности сигнала НИВ были смоделированы по предлагаемой модели теоретические сигналы сопротивления с частотой дискретизации 200 кГц и длительностью, равной длительности двух периодов вращения кольца, затем сигналы разделялись на интервалы длительностью по 0,01 с, и для каждого интервала определялось значение инте-

гальной функции в точке 100 Ом. Таким образом, был смоделирован по новому принципу сигнал изменения НИВ с дискретизацией 0,01 с, на основе которого вычислялись основные интегральные диагностические параметра, а именно среднее значение НИВ, среднеквадратическое отклонение (СКО) и квадрат отношения СКО и среднего значения НИВ. На рисунках 5 и 6 представлены полученные зависимости.



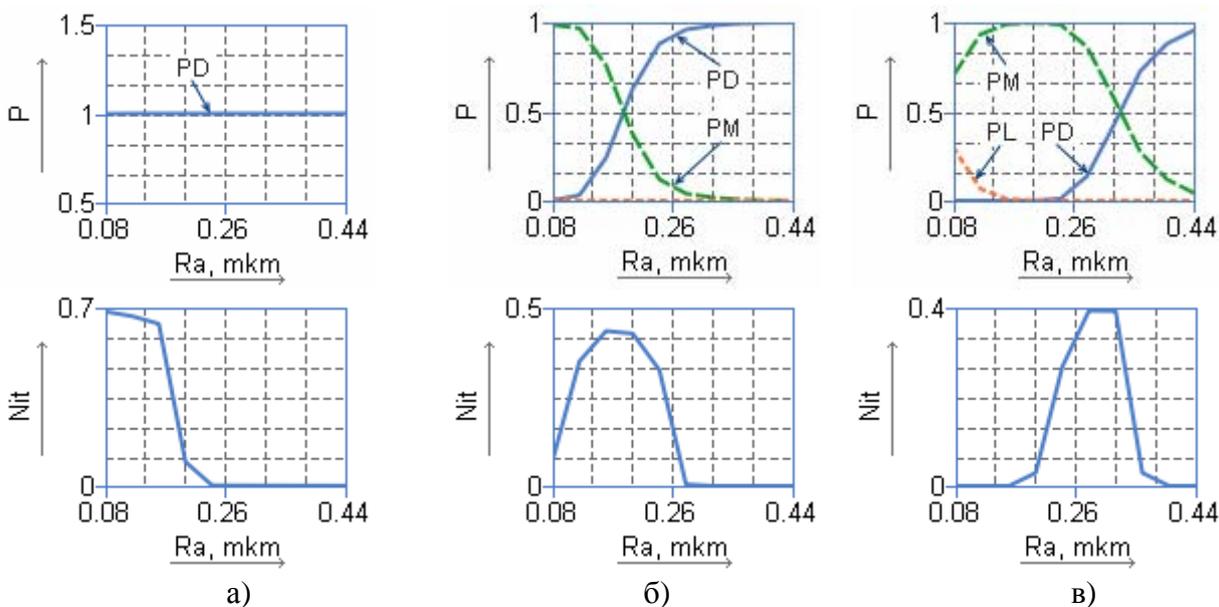
**Рисунок 5 – Изменение диагностических параметров от частоты вращения внутреннего кольца при радиальной нагрузке 50 Н**

а) среднее значение НИВ; б) СКО НИВ; в) квадрат отношений СКО и среднего значения НИВ



**Рисунок 6 – Изменение диагностических параметров от радиальной нагрузки частоте вращения внутреннего кольца 300 об/мин**

а) среднее значение НИВ; б) СКО НИВ; в) квадрат отношений СКО и среднего значения НИВ



**Рисунок 7 – Изменение режима трения и среднего значения НИВ от среднего отклонение профиля поверхности Ra при радиальной нагрузке 70 Н и частоте вращения внутреннего кольца**

а) 100 об/мин; б) 500 об/мин; в) 1000 об/мин

Результаты теоретических исследований показали, что среднее значение НИВ практически не имеет линейной взаимосвязи с вектором вероятностей режима трения, что следует из анализа диаграмм, приведенных на рисунке 7. Сопротивление подшипника в сухом режиме трения имеет широкий диапазон значений, и идентификация контактов на основе измерения НИВ является не вполне достоверной. Так для сухого трения (рис. 7-а) при среднем отклонении профиля поверхности  $Ra$  более 0,26 мкм сопротивление лежит выше 100 Ом и моделируемый диагностический параметр равен нулю. При смешанном трении (рис. 7-б) НИВ является не однозначным по отношению к  $Ra$ , например, при  $PD = 0,85$  и  $PD = 0,05$  НИВ в обоих случаях равен 0,25. Использование «традиционной» модели НИВ не позволяет исследовать данный эффект, что подтверждает расширение возможностей моделирования сигналов НИВ с применением основанного на активном сопротивлении подхода. Однако следует отметить, что НИВ не позволяет так же определить важное с диагностической точки зрения соотношение вероятностей смешанного и жидкостного трения (рис. 7-в), поскольку параметр при данных условиях постоянен и равен нулю, что согласуется с известными трибологическими теориями с учетом принятых при моделировании допущений.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью подтверждения теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования. Испытательный стенд (рис. 8) был собран на основе совместно разработанного ООО «НПП «Астронэлектроника» и ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» стенда для приработки подшипников качения. Все эксперименты проводились в лабораторных помещениях при нормальных климатических условиях.



а)



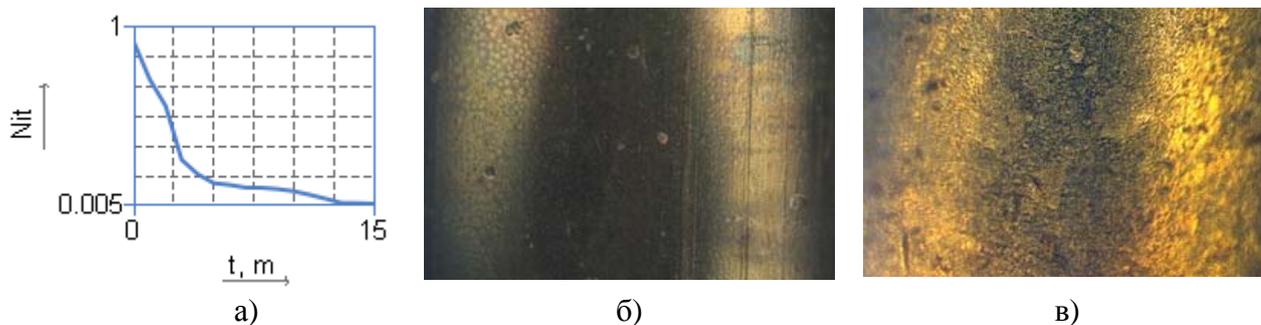
б)

**Рисунок 8 – Стенд для приработки подшипников качения**

а) механический блок, б) общий вид

Для регистрации НИВ кольца подшипника включаются в электрическую цепь, позволяющую преобразовать импульсы снижения сопротивления подшипника в импульсы напряжения. Эту роль выполняет мостовая схема, питаемая источника тока, одним из плеч которой является подшипник. Введенный в измерительную цепь компаратор напряжения, обеспечивает формирование на выходе схемы импульсов прямоугольной формы при достижении измеряемого сопротивления ниже порогового значения 100 Ом. На основе длительности данных импульсов программно определяется значение НИВ с интервалом усреднения 0,01 с.

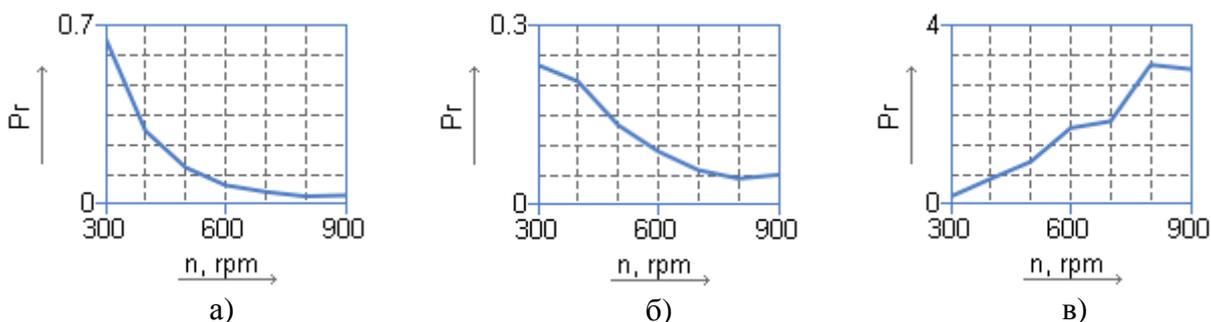
На рисунке 9-а показана динамика среднего значения НИВ при работе подшипника без смазочного материала при частоте вращения внутреннего кольца 500 об/мин и радиальной нагрузке 70 Н.



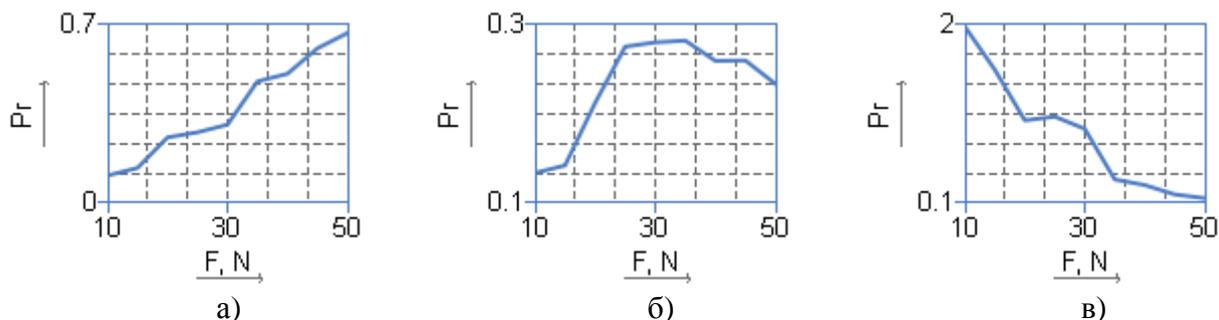
**Рисунок 9 – Работа подшипника при отсутствии смазочного материала**  
 а) изменения среднего значения НИВ; б) фотографии поверхности дорожки качения подшипника в начале работы; в) фотографии поверхности дорожки качения подшипника после 15 мин работы

Перед исследованием новые подшипники были предварительно промыты в гексане и высушены в течение 20 мин. Фотографии дорожек качения сделаны с помощью микроскопа Axioskop 2 MAT фирмы «Carl Zeiss». В начальный период времени НИВ равен 0,835059, после 15 мин работы – 0,005148, что подтверждает широкий диапазон изменения сопротивления при сухом режиме трения и указывает на неоднозначность оценки вероятности контакта только на основе параметра НИВ.

На рисунках 9 и 10 приведены зависимости интегральных диагностических параметров при работе подшипника с маслом И-20. Эксперименты проводились на приработанных подшипниках в режиме одностороннего вращения внутреннего кольца с частотой 300 об/мин и радиальной нагрузкой 20 Н. Приработка прекращалась при относительной стабилизации регистрируемого параметра НИВ.



**Рисунок 9 – Изменение диагностических параметров от частоты вращения внутреннего кольца при радиальной нагрузке 50 Н**  
 а) среднее значение НИВ; б) СКО НИВ; в) квадрат отношений СКО и среднего значения НИВ



**Рисунок 10 – Изменение диагностических параметров от радиальной нагрузки частоте вращения внутреннего кольца 300 об/мин**  
 а) среднее значение НИВ; б) СКО НИВ; в) квадрат отношений СКО и среднего значения НИВ

Полученные данные использовались для оценки точности предложенной модели (табл. 2) с использованием следующих метрик.

$$MAE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_i|, \quad MRE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right|, \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где  $N$  – количество значений;  
 $\hat{y}_i$  – прогнозируемые значения;  
 $y_i$  – экспериментальные значения;  
 $\bar{y}$  – среднее значение  $y_i$ .

На основании результатов можно констатировать, что предлагаемая математическая модель отражает качественные и количественные изменения исследуемых диагностических параметров от режима работы.

Таблица 2 – Точность прогнозирования зависимостей на основе математической модели

Параметр	Зависимость от частоты вращения			Зависимость от радиальной нагрузки		
	MAE	MRE	$R^2$	MAE	MRE	$R^2$
НИВ	0,09	0,201	0,878	0,05	0,04	0,961
СКО НИВ	0,052	0,526	0,709	0,144	0,272	0,566

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложенный подход моделирования НИВ на основе модели активного сопротивления подшипника является более информативным и достоверным, поскольку основан на соответствии модельного параметра НИВ, соответствующему инструментально измеряемому НИВ, получаемому при оценке активного сопротивления подшипника.

Полученные теоретические и экспериментальные данные показали сложный и неоднозначный характер зависимостей НИВ от внешних и внутренних условий работы подшипника. НИВ в традиционном его понимании не всегда является достаточной статистической оценкой вероятности микроконтактов в трибосопряжениях «тело качения – кольцо» и не дает полного вероятностного описания их режима трения (нет возможности оценить вероятность работы трибосопряжений в смешанном и жидкостном режимах трения). Предлагаемый подход к моделированию параметра НИВ несколько увеличивает информативность параметра, однако так же имеет значительные ограничения по оценке вероятности возникновения конкретного режима трения. Анализ модельных и экспериментальных сигналов электрического сопротивления подшипника качения показал, что для более глубокого понимания процессов в зоне трения и адекватного интерпретирования результатов диагностирования необходим синтез новых параметров, комплексно оценивающих характеристики реальных процессов в трибосопряжениях. Предположительно полная интегральная или дифференциальная функции распределения сигнала сопротивления подшипника за счет охватывания большего диапазона электрического сопротивления могут быть более информативными диагностическими параметрами по отношению к НИВ при оценке реального вида смазки или режима трения в подшипнике. В связи с вышесказанным является целесообразным проведение дальнейших исследований по поиску эффективных электрорезистивных диагностических параметров для оценки режима трения трибосопряжений подшипника качения.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания 7.2668.2011.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Подмастерьев, К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения / К.В. Подмастерьев. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
2. Чернышов, В.Н. Моделирование активного сопротивления подшипникового узла / В.Н. Чернышов, В.В. Мишин, А.В. Пальчевский // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2011. – № 2/2 С. 18-24.

**Чернышов Виктор Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Научный сотрудник

Тел. (4862) 41-98-76

E-mail: vikorbit@gmail.com

**Мишин Владислав Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. (4862)41-98-76

E-mail: vlad89290@gmail.com

**Подмастерьев Константин Валентинович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, зав. каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»

E-mail: pms35@ostu.ru

---

V.N. CHERNYSHOV, V.V. MISHIN, K.V. PODMASTERIEV

**RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF THE NORMALIZED INTEGRAL  
TIME CONTACTING TO ASSESS MODE FRICTION UNIT OF THE BALL  
BEARING**

*In this paper presents results of theoretical and experimental studies of the normalized integral time contacting at various external and internal conditions of the ball bearing. The conclusions on the effectiveness of its application to assess the mode of friction units "ball - ring" bearing.*

**Keywords:** NIT, mode of friction, ball bearing.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Podmaster'ev, K.V. Jelektroparametricheskie metody kompleksnogo diagnostirovaniya opor kachenija / K.V. Podmaster'ev. – М.: Mashinostroenie-1, 2001. – 376 s.
2. Chernyshov, V.N. Modelirovanie aktivnogo soprotivlenija podshipnikovogo uzla / V.N. Chernyshov, V.V. Mishin, A.V. Pal'chevskij // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii». – 2011. – № 2/2 S. 18-24.

**Chernyshov Viktor Nikolaevich**

State University – Education Science Production Complex, Orel

Graduate student of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Тел. (4862) 41-98-76

E-mail: vikorbit@gmail.com

**Mishin Vladislav Vladimirovich**

State University – Education Science Production Complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Тел. (4862)41-98-76

E-mail: vlad89290@gmail.com vm@rbcmail.ru

**Podmasteriev Konstantin Valentinovich**

State University – Education Science Production Complex, Orel

Doctor of technical science, professor, head of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Тел. (4862) 41-98-76

E-mail: pms35@ostu.ru

## ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ РОБАСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*В работе рассмотрены методы робастного проектирования изделий машиностроения. Предложен подход оптимизации параметров изделия машиностроения с точки зрения робастности технологического процесса, рассмотрен пример робастной оптимизации параметров четырехмассовой модели транспортного средства.*

**Ключевые слова:** проектирование; робастная оптимизация; изделие машиностроения; технологический процесс.

Постоянный рост требований потребителей к качеству изделий машиностроения обуславливает особую роль начальных этапов их жизненного цикла. По данным зарубежных производителей наукоемкой машиностроительной продукции, потери связанные с неправильным планированием качества продукта на стадиях: разработки-освоения объекта-производства-эксплуатации относятся соответственно как 1:10:100:1000. При этом качество продукции, характеризуемое единичными, комплексными и интегральными показателями не является постоянной величиной, а претерпевает изменения во времени [1]. Основной причиной, оказывающей влияние на такие изменения, является то, что показатели качества процессов жизненного цикла и используемых ресурсов также зависят от времени. Ограничение этого влияния достигается посредством расчета и назначения допусков на параметры процессов и ресурсов, однако уменьшение значений допусков приводит к существенному росту стоимости продукции.

Для разрешения этого противоречия Г. Тагути был разработан и неоднократно успешно применен один из современных инструментов менеджмента качества – робастное проектирование [2, 3]. Основной идеей робастного проектирования является исключение необходимости постоянной корректировки параметров процессов, за счет обеспечения устойчивости проектируемых изделий к внешним факторам и колебаниям параметров производства. Применение этого инструмента при планировании качества продукции [4] позволит свести производственные затраты к минимуму на ранних стадиях проектирования.

Классическое робастное проектирование основано на проведении экспериментальных исследований процессов, исследования влияния факторов на отклик, и выбор оптимальных диапазонов факторов с использованием целевой функции, являющейся отношением «сигнал/шум» [2]. В работе [5] впервые рассмотрены две постановки задачи робастной оптимизации при проектировании изделий машиностроения и процессов их жизненного цикла:

1) следует найти такие значения интервалов параметров  $\Delta x_j$ , при которых достигается минимальное изменение целевой функции –  $\Delta Q(\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_n) \rightarrow \min$ ;

2) следует найти максимально возможные области изменения параметров  $\Delta X \rightarrow \max$ , при заданных допустимых отклонениях значений  $Q(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \leq [Q]$ ;

а также предложен подход к решению такой задачи с использованием численных методов.

Изделия наукоемкого машиностроения являются сложными системами, состоящими из взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем: механической, электрической, гидравлической, электронной и др. Любая продукция имеет свои свойства, так основными свойствами машин являются: функциональность, надежность, экономичность, эргономичность, экологичность, эстетичность, технологичность и безопасность [6]. На основе изучения проявления этих свойств на различных этапах жизненного цикла можно сформировать систему их показателей качества. Например, при определении показателей эргономичности, существенную роль будут играть вибрационные характеристики механической подсистемы машины.

При рассмотрении линейной модели колебаний такие характеристики получают на основе математической модели

$$M\ddot{Z}(t) + C\dot{Z}(t) + KZ(t) = F(t), \quad (1)$$

где  $M$  – матрица инерционных параметров;  $C$  – матрица демпфирования;  $K$  – матрица жесткости;  $Z(t)$  – вектор вибро смещений элементов;  $F(t)$  – вектор вибровозмущений.

Для целого класса задач синтеза и анализа механических подсистем не требуется поиск решения (1) во временной области, а сразу выполняется переход в частотную область посредством применения интегрального преобразования Фурье к (1) [7], в результате чего, после преобразований получается следующее выражение:

$$Z(\omega) = W^{-1}(\omega) F(\omega), \quad (2)$$

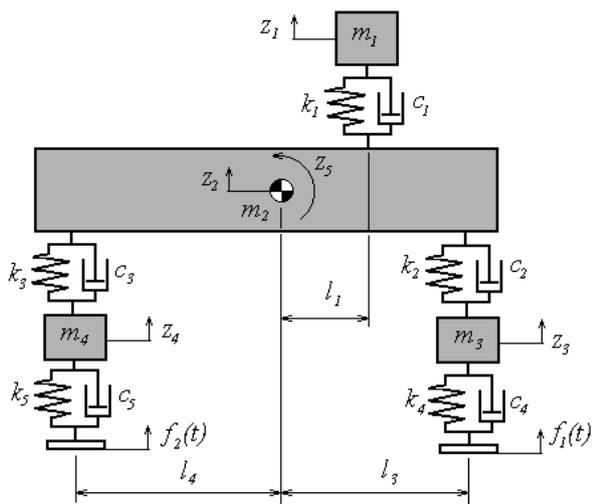
где  $Z(\omega)$  – комплексный амплитудный спектр вибро смещений;  $F(\omega)$  – комплексный амплитудный спектр вибровозмущений;  $W^{-1}(\omega)$  – комплексная матрица динамической податливости,  $W^{-1}(\omega) = (-\omega^2 M + j\omega C + K)$ ;  $\omega$  – круговая частота колебаний;  $j$  – мнимая единица.

На основе выражения (2) при заданном спектре вибровозмущений  $F(\omega)$  можно определить, в частности, такие показатели эргономичности машины, как максимальные и усредненные значения вибро смещения, вибро скорости и вибро ускорения.

Отметим, что даже для задачи однокритериальной оптимизации в классической постановке применение различных методов оптимизации приводит к существенно различающимся решениям. Рассматриваемый в этой работе подход находится в стадии становления и недостаточно формализован, поэтому на данном этапе для решения задачи робастной оптимизации целесообразно использовать метод полного перебора факторного пространства.

Рассмотрим применение этого подхода на известном примере оптимизации параметров подвески транспортного средства, представляющего собой четырехмассовую модель с пятью степенями свободы (рис. 1) [8, 9].

Рисунок 1 – Четырехмассовая модель транспортного средства [8, 9]



Матрицы инерционных коэффициентов и жесткости имеют вид:

Матрицы инерционных коэффициентов и жесткости имеют вид:

$$\begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J \end{bmatrix},$$

(3)

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & -k_1 l_1 \\ k_1 & k_2 - k_1 + k_3 & -k_2 & -k_3 & -k_3 l_4 + k_2 l_3 - k_1 l_1 \\ 0 & k_2 & k_4 - k_2 & 0 & k_2 l_3 \\ 0 & k_3 & 0 & k_5 - k_3 & -k_3 l_4 \\ k_1 & k_2 - k_1 & -k_2 & 0 & k_2 l_3 - k_1 l_1 \end{bmatrix},$$

матрица демпфирования  $C$  эквивалентна матрице жесткости  $K$  при замене коэффициентов жесткости на коэффициенты демпфирования. Параметры механической подсистемы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры исследуемой механической подсистемы

Параметр	Жесткость К, Н/м	Демпфирование С, Н*с/м	Длина l, м	Масса (момент инерции) m (J), кг (кг*м <sup>2</sup> )
1	8756	8765	0,254	131,66
2	35025	14010		2043
3	35025	14010	1,016	43
4	262700	876	2,032	43
5	262700	876		4632

Оптимизация параметров механической подсистемы проводилась, также как и в [8, 9], с целью снижения амплитуды виброускорений на водительском кресле – Z. Однако, в отличие от рассмотренных работ, внешнее кинематическое воздействие не связывалось с определенным профилем автомобильной дороги, в связи с тем, что минимальное значение целевой функции должно достигаться на дорогах с различным профилем. В связи с этим, среднее значение амплитуды виброускорений на водительском кресле определялось по зависимости:

$$A = \int_0^{\infty} |\ddot{Z}(\omega)| d\omega,$$

т.е. спектральная характеристика внешнего воздействия соответствовала «белому» шуму.

В работе была проведена оптимизация параметров C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub>, причем было принято, что C<sub>2</sub>=C<sub>3</sub>. В результате получены оптимальные значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные значения параметров

Параметр	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Оптимальное значение	350	2189,4	2189,4

Помимо самих оптимальных значений были определены области, удовлетворяющие условию: отклонение среднего значения амплитуды виброускорений на водительском кресле от минимума не больше заданного процента. На рисунках 2 и 3 представлены области с допустимыми отклонениями в 10 % и 20 % соответственно.

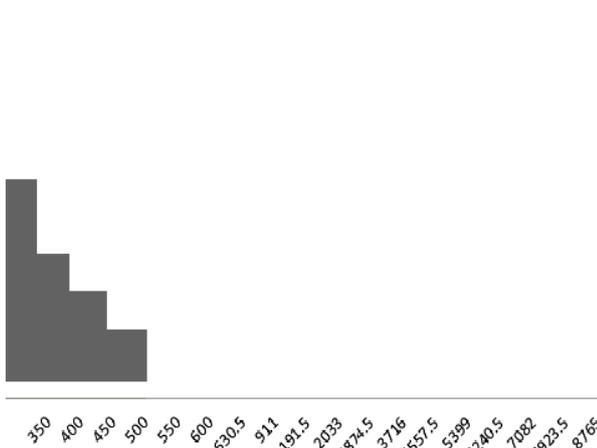


Рисунок 2 – Область допустимых значений параметров C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub> при максимальном допустимом отклонении 10 %

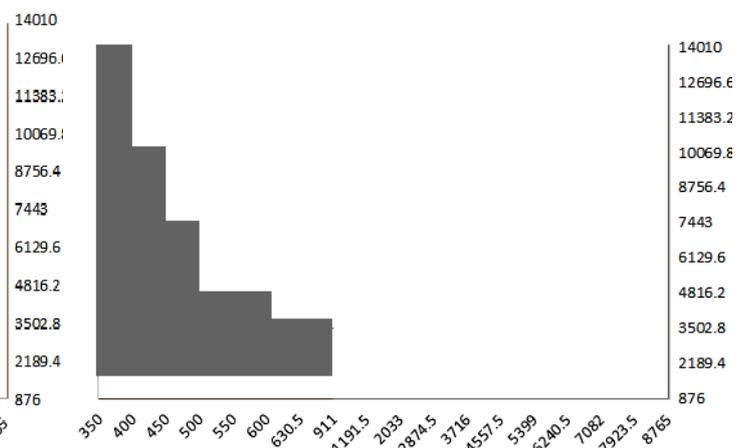


Рисунок 3 – Область допустимых значений параметров C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub> при максимальном допустимом отклонении 20 %

Используя полученные диапазоны можно установить допуски на значения C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub>. В случае независимых допусков ограничивающая область примет вид прямоугольника. На рисунке 4 представлен пример определения допусков в области с допустимым отклонением 20 %.

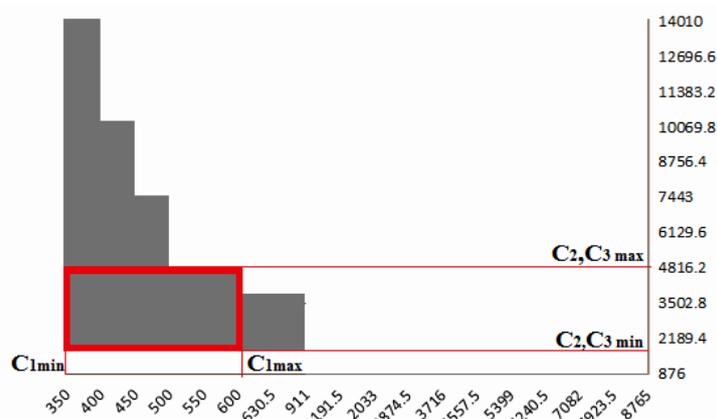


Рисунок 4 – Определение допусков на параметры системы по областям робастности целевой функции

В данном примере точка, соответствующая оптимальным значениям параметров, лежит на границе области, а не в середине, в связи с чем, не может быть оптимальной с точки зрения проектирования технологического процесса производства. В простейшем случае оптимальными параметрами для обеспечения робастности технологического процесса будет обладать точка, расположенная в центре прямоугольника. Это обусловлено тем, что имеется запас робастности к изменениям параметров  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  и в сторону уменьшения, и в сторону увеличения, а значит, обеспечивает робастность к случайным воздействиям.

Таким образом, в работе рассмотрены методы проектирования изделий машиностроения, планирования их качества и показан пример робастной оптимизации параметров четырехмассовой модели транспортного средства в соответствии с задачей, описанной в работе [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивахненко, А.Г. Основные положения динамики качества продукции / А.Г. Ивахненко, В.Е. Пузанов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2012. – № 2-5. – С. 122-128.
2. Варжапетян, А.Г. Современные инструменты менеджмента качества. Робастное проектирование. Ч. 1: учебное пособие / А.Г. Варжапетян. – СПб: ГУАП, 2008. – 172 с.
3. Ивахненко, А.А. Инжиниринг качества на основе робастного проектирования / А.А. Ивахненко, Л.М. Червяков // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии*. 2012. – № 2. – С. 38-43.
4. ГОСТ Р 51814.6-2005. Системы качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов. М.: Стандартинформ, 2006. 43 с.
5. Ивахненко, А.А. Робастная оптимизация при проектировании машиностроительной продукции и технологических процессов / А.А. Ивахненко, Л.М. Червяков // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии*. 2013. – №1. – С. 55-59.
6. Ивахненко, А.Г. Структурно-параметрический синтез технологических систем / А.Г. Ивахненко, В.В. Куцо. – Курск: КГТУ, 2010. – 153 с.
7. Ивахненко, А.Г. Вибродиагностика механических систем по их частотным характеристикам / А.Г. Ивахненко, С.И. Клепиков // *Известия ВУЗов. Машиностроение*. 1990. – № 6. – С. 34-36.
8. Хог, Э. Прикладное оптимальное проектирование / Э. Хог, Я. Арора. – М.: Мир, 1983. – 478 с.
9. Вербилов, А.Ф. Методы оптимизации параметров при решении задач динамики сложных механических систем / А.Ф. Вербилов, В.В. Ковалев // *Ползуновский вестник*. 2009. – № 1-2. – С. 174-178.

### Ивахненко Алексей Александрович

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск  
 Аспирант кафедры управления качеством, метрологии и сертификации  
 Телефон: (4712) 32-61-00  
 E-mail: i\_alex2004@mail.ru

### Червяков Леонид Михайлович

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск  
 Доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством, метрологии и сертификации  
 Телефон: (4712) 32-61-00  
 E-mail: chlм@mail.ru

A.A. IVAKHNENKO, L.M. CHERVYAKOV

## PLANNING QUALITY OF ENGINEERING PRODUCTS BASED ON ROBUST DESIGN

*In work methods of robust design of engineering product are considered. Offered approach of optimization of engineering product parameters in terms of technological process robustness. Listed example of robust optimization of parameters of four-mass model of vehicle.*

**Keywords:** design; robust optimization; engineering product; technological process.

### BIBLIOGRAPHY

1. Ivahnenko, A.G. Osnovnye polozhenija dinamiki kachestva produkcii / A.G. Ivahnenko, V.E. Puzanov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. 2012. – № 2-5. – S. 122-128.
2. Varzhapetjan, A.G. Sovremennye instrumenty menedzhmenta kachestva. Robastnoe proektirovanie. Ch. 1: uchebnoe posobie / A.G. Varzhapetjan. – SPb: GUAP, 2008. – 172 s.
3. Ivahnenko, A.A. Inzhiniring kachestva na osnove robastnogo proektirovanija / A.A. Ivahnenko, L.M. Chervjakov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Tehnika i tehnologii. 2012. – № 2. – S. 38-43.
4. GOST R 51814.6-2005. Sistemy kachestva v avtomobilestroenii. Menedzhment kachestva pri planirovanii, razrabotke i podgotovke proizvodstva avtomobil'nyh komponentov. M.: Standartinform, 2006. 43 s.
5. Ivahnenko, A.A. Robastnaja optimizacija pri proektirovanii mashinostroitel'noj produkcii i tehnologicheskikh processov / A.A. Ivahnenko, L.M. Chervjakov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Tehnika i tehnologii. 2013. – №1. – S. 55-59.
6. Ivahnenko, A.G. Strukturno-parametricheskij sintez tehnologicheskikh sistem / A.G. Ivahnenko, V.V. Kucju. – Kursk: KGTU, 2010. – 153 s.
7. Ivahnenko, A.G. Vibrodiagnostika mehanicheskikh sistem po ih chastotnym karakteristikam / A.G. Ivahnenko, S.I. Klepikov // Izvestija VUZov. Mashinostroenie. 1990. – № 6. – S. 34-36.
8. Hog, Je. Prikladnoe optimal'noe proektirovanie / Je. Hog, Ja. Arora. – M.: Mir, 1983. – 478 s.
9. Verbilov, A.F. Metody optimizacii parametrov pri reshenii zadach dinamiki slozhnyh mehanicheskikh sistem / A.F. Verbilov, V.V. Kovalev // Polzunovskij vestnik. 2009. – № 1-2. – S. 174-178.

#### **Ivakhnenko Aleksei Aleksandrovich**

Southwest State University, Kursk

Postgraduate of Quality Management, Metrology and Certification department

Tel. (4712) 32-61-00

E-mail: i\_alex2004@mail.ru

#### **Chervyakov Leonid Mihailovich**

Southwest State University, Kursk

PhD, Professor of Quality Management, Metrology and Certification department

Tel. (4712) 32-61-00

E-mail: chlm@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ QFD-МЕТОДОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ» В ГОСУНИВЕРСИТЕТЕ-УНПК

*В статье описано развертывание Функции Качества (QFD) на примере процесса «Проектирование и разработка основных образовательных программ». На основании социологического исследования на тему «Удовлетворенность студентов качеством образования в Госуниверситете-УНПК» выявлены входные параметры для анализа процесса. Определены зависимости между требованиями и характеристиками процесса, корреляционные связи между характеристиками продукта процесса.*

**Ключевые слова:** «дом качества», требования потребителей, важность, удовлетворенность, характеристики продукта, целевое значение, корреляционная матрица.

### ВВЕДЕНИЕ

Метод развертывания функции качества (Quality Function Deployment – QFD) в общем виде реализуется с помощью совокупности матриц, называемой «Дом качества» (Quality House). Исходными данными для него являлись следующие показатели. Для определения требований потребителей процесса [1] использовались контролируемые параметры чек-листа для проведения внутреннего аудита по процессу «Проектирования и разработки основных образовательных программ» (ООП). Для характеристик продукта (параметров качества продукта) [1] данные берутся из ПП ОрелГТУ 72-04-01-2009 «Проектирование и разработка ООП» пункта «Ресурсы для реализации процесса», а также из СТО ОрелГТУ 41-01-02-2009 «Сеть процессов» таблицы 1 столбца 3 «Документированные процедуры, определяющие порядок выполнения процессов». Чек-листы были разработаны в отделе качества Госуниверситета-УНПК, и по ним были проведены аудиты. Изначальная удовлетворенность требованиями процесса 72-04-01-2009 «Проектирование и разработка ООП» [1] указывалась на основании социологического исследования на тему «Удовлетворенность студентов качеством образования в Госуниверситете-УНПК» пункта 5 «Расчет индекса удовлетворенности качеством образования в Госуниверситете-УНПК» столбца «Важность» [2]. Целевое значение [1] требований указывалось также на основании данного социологического исследования столбца «Удовлетворенность» [2].

В поле связей расставлялись проанализированные опытным путем зависимости между требованиями и характеристиками процесса. Подобным образом заполнялась корреляционная матрица, образующая крышу «Дома качества».

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ООП

При построении «Дома качества» для процесса «Проектирование и разработка ООП» для каждого параметра требований указывалось значение удовлетворенности представленными требованиями на данный момент, а также их целевые значения. Для объективности исследования входные сведения для «Дома качества» брались, основываясь на данных «Социологического исследования на тему: Удовлетворенность студентов качеством образования в Госуниверситете-УНПК» [2], в котором приняли участие около четырехсот студентов. В исследовании студенты, отвечая на вопросы анкеты [2], указывали важность различных аспектов качества образовательной деятельности и удовлетворенность ими.

Значения для колонки удовлетворенности были взяты из социологического исследования, как среднее значение удовлетворенности аспектами качества образовательных услуг в Госуниверситете-УНПК. В качестве показателей в колонке целевых значений «Дома качества» были использованы средние значения важности аспектов качества образовательных услуг по пятибалльной шкале (табл. 1).

Таблица 1 – Аспекты качества образовательных услуг Госуниверситета-УНПК и их значения, используемые для «Процесса проектирования и разработки ООП»

<b>Аспекты качества образовательных услуг Госуниверситета-УНПК</b>	<b>Среднее значение удовле- творенно- сти</b>	<b>Среднее значение важности</b>
1. Содержание учебных дисциплин отражает современные достижения науки и техники	3,5	4,36
2. Учебный материал включает практические аспекты	3,54	4,46
3. Все виды учебных занятий проводятся на высоком теоретическом и методическом уровне	3,57	2,65
4. Преподаватели имеют высокий уровень квалификации и творческой профессиональной деятельности	3,88	4,47
6. Вузовская система оценки качества профессиональной деятельности преподавателей эффективна	3,19	3,63
7. Учебный процесс обеспечен достаточной компьютерной базой	3,39	4,09
15. Учебный процесс обеспечен современным оборудованием и демонстрационными материалами	3,08	4,21
16. Учебный процесс обеспечен научной и учебно-методической литературой	3,53	4,2
17. Расписание учебных занятий продуманно и удобно	2,87	4,27
21. К качеству знаний студента предъявляются высокие требования	3,92	3,87

Средние оценки «важности» для студентов аспектов качества образовательных услуг соответствовали целевым значениям требований «Дома качества», так как их мнения наглядно показывали те целевые значения качества, к которым следует стремиться университету в реализации его процессов. Разброс средних значений важности в социологическом исследовании оказался в интервале от 2,65 до 4,47 балла по пятибалльной шкале. Разброс оценок находился в интервале 1,83 балла. Так как средние значения не преодолели барьер выше 4,5 баллов, что можно было бы математически округлить до пяти, как к ближайшему целому, и ниже 2,5, что можно было бы приравнять к двум баллам, то для оценки целевых значений «Дома качества» предлагалось руководствоваться следующей системой оценок. В связи с тем, что студенты не посчитали важность какого-либо из аспектов образовательной деятельности ниже 2,65 баллов, то оценки требований «Дома качества» ниже трех баллов отсутствовали. Целевые значения расставлялись в интервале от трех до пяти баллов. Так как разброс оценок аспектов образовательной деятельности в исследовании равен 1,83 балла, то разделив 1,83 на три, получен интервал в 0,61 балла. Используя этот интервал, начиная с 2,65 балла и прибавляя его каждый раз, получались оценки аспектов образовательной деятельности, соответствующие оценкам колонки целевых значений в 3, 4 и 5 баллов. Следовательно, интервал оценок в исследовании от 2,65 до 3,25 был равен оценке целевого значения в 3 балла. Интервал оценок от 3,26 до 3,86 равен 4, а интервал от 3,87 до 4,47 равен 5 баллам.

Удовлетворенность указывалась следующим образом. Для большей объективности оценок данного социологического исследования применительно к изучаемым процессам предлагалось оценки удовлетворенности требований находить по формуле:

$$B = A - ((a - b) \rightarrow Z), \quad (1)$$

так, что математически округляя к ближайшему целому:

если  $Z + 1$  знак после запятой  $< 5$ ,  $Z' = Z$ ,

если  $Z + 1$  знак после запятой  $\geq 5$ ,  $Z' = Z + 1$ ,

где  $A$  – целевые значения требований процесса «Дома качества»;

$B$  – значения удовлетворенности требований «Дома качества»;

а – среднее значение важности Госуниверситета-УНПК;

в – среднее значение удовлетворенности студентов аспектами качества образовательной деятельности;

Z – целое число;

$Z = (a - в) \rightarrow Z$  – целое число, вычитаемое из А.

Оценки удовлетворенности и целевых значений требований «Дома качества» (табл. 2) указывались в соответствии с теми аспектами образовательной деятельности, которым данные требования соответствуют.

Требования «разработка целей ООП (цели должны быть измеримыми и согласуемыми с Политикой в области качества) и их выполнение», «планирование процесса проектирования и разработки ООП», «определены ли входные данные для проектирования ООП?», «установлено ли соответствие входных данных проекта ООП входным требованиям?», «осуществлена ли верификация ООП – удостоверение того, что выходные данные проектирования соответствуют входным данным?», «осуществлена ли валидация проекта ООП – удостоверение того, что полученная продукция соответствует требованиям потребителей?», «как часто осуществляется мониторинг и анализ процесса?», «принимаются ли меры, необходимые для достижения запланированных результатов?», «обеспечивается ли наличие соответствующих версий (копий) документов в местах их применения?», «предотвращение непреднамеренного использования устаревших документов и применение соответствующей идентификации таких документов, оставленных для каких-либо целей», «прошел ли проект рабочего учебного плана процедуру рассмотрения и согласования на заседании УМС института (факультета)?», «наличие утвержденных УП в институте (в деканате, на кафедре) с отметкой УУ», «установление соответствия рабочей программы учебной дисциплины требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-06» соответствовали аспекту «содержание учебных дисциплин отражает современные достижения науки и техники». Так как цель каждого из требований выше состоит в том, чтобы материал каждой учебной дисциплины соответствовал современным стандартам качества. Значение данного аспекта качества образовательной деятельности равно 4,36 балла и находится в интервале от 3,87 до 4,47 баллов, следовательно, целевое значение каждого из вышеперечисленных требований в «Доме качества» равно 5 баллам. Удовлетворенность требований «Дома качества» по формуле (1) была равна 4 баллам. Аналогичным образом расставлялись оценки удовлетворенности и целевых значений для требований ниже.

Требование «обеспечение необходимыми ресурсами для поддержания процесса» соответствовало аспекту «учебный процесс обеспечен достаточной компьютерной базой», так как компьютерная техника является необходимым ресурсом для разработки и деятельности любого учебного процесса. Целевое значение данного требования равно 5 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Требование «обеспечение информацией, необходимой для поддержания процесса» соответствовало аспекту «учебный процесс обеспечен научной и учебно-методической литературой», так как разработка образовательных программ производится в соответствии с имеющейся учебно-методической базой. Целевое значение равно 5 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Требование «определение и доведение до сведения персонала распределение ответственности и полномочий при выполнении работ и мероприятий по данному процессу» соответствовало аспекту «преподаватели имеют высокий уровень квалификации и творческой профессиональной активности», так как от осведомленности персонала об их полномочиях и ответственности зависит уровень их квалификации. Целевое значение равно 5 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Требование «определение необходимой компетентности и поддержание в рабочем состоянии записей об образовании, подготовке, навыках и опыте сотрудников, непосредственно связанных с процессом проектирования и разработки ООП» соответствовало аспекту «вузовская система оценки качества профессиональной деятельности преподавателей эффек-

тивна», так как система оценки качества профессиональной деятельности преподавателей занимается определением их компетентности. Целевое значение равно 4 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Таблица 2 – Требования «Дома качества» процесса «Проектирование и разработка ООП»

Требования потребителей процесса		Удовлетворенность	Целевое значение	Степень улучшения	Весомость	Весомость, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Разработка целей ООП (цели должны быть измеримыми и согласуемыми с Политикой в области качества) и их выполнение	4	5	1,25	5	4,42
2	Планирование процесса проектирования и разработки ООП	4	5	1,25	5	4,42
3	Обеспечение необходимыми ресурсами для поддержания процесса	4	5	1,25	5	4,42
4	Обеспечение информацией, необходимой для поддержания процесса	4	5	1,25	5	4,42
5	Определены ли входные данные для проектирования ООП?	4	5	1,25	5	4,42
6	Установлено ли соответствие входных данных проекта ООП входным требованиям?	4	5	1,25	5	4,42
7	Осуществлена ли верификация ООП – удостоверение того, что выходные данные проектирования соответствуют входным данным?	4	5	1,25	5	4,42
8	Осуществлена ли валидация проекта ООП – удостоверение того, что полученная продукция соответствует требованиям потребителей?	4	5	1,25	5	4,42
9	Определение и доведение до сведения персонала распределение ответственности и полномочий при выполнении работ и мероприятий по данному процессу	4	5	1,25	5	4,42
10	Определение необходимой компетентности и поддержание в рабочем состоянии записей об образовании, подготовке, навыках и опыте сотрудников, непосредственно связанных с процессом проектирования и разработки ООП	4	4	1	4	3,54
11	Как часто осуществляется мониторинг и анализ процесса?	4	5	1,25	5	4,42
12	Принимаются ли меры, необходимые для достижения запланированных результатов?	4	5	1,25	5	4,42
13	Обеспечивается ли наличие соответствующих версий (копий) документов в местах их применения?	4	5	1,25	5	4,42
14	Предотвращение непреднамеренного использования устаревших документов и применение соответствующей идентификации таких документов, оставленных для каких-либо целей	4	5	1,25	5	4,42
15	Прошел ли проект рабочего учебного плана процедуру рассмотрения и согласования на заседании УМС института (факультета)?	4	5	1,25	5	4,42

1	2	3	4	5	6	7
16	Наличие утвержденных УП в институте (в деканате, на кафедре) с отметкой УУ	4	5	1,25	5	4,42
17	Наличие семестровых графиков учебных занятий	4	5	1,25	5	4,42
18	Установление соответствия графиков учебных занятий требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-05.	4	5	1,25	5	4,42
19	Установление соответствия рабочей программы учебной дисциплины требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-06	4	5	1,25	5	4,42
20	Соответствие комплектности и состава УМК требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-04	4	5	1,25	5	4,42
21	Осуществляется ли директором института (деканом факультета, зав.кафедрой) контроль обновления УМК дисциплин?	4	3	1	4	3,54
22	Наличие положений и других регламентирующих документов для проведения текущего контроля, ежемесячной, промежуточной и итоговой государственной аттестации	5	5	1	5	4,42
23	Наличие и осуществление проектирования и разработки программ и методического обеспечения для организации и проведения практик студентов	4	5	1,25	5	4,42

Требования «наличие семестровых графиков учебных занятий» и «установление соответствия графиков учебных занятий требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-05» соответствовали аспекту «расписание учебных занятий продумано и удобно», так как целью построения графиков учебных занятий является так же их удобство для студентов. Целевое значение равно 5 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Требование «соответствие комплектности и состава УМК требованиям СТО ОрелГТУ 72-04-04» соответствовало аспектам «учебный процесс обеспечен современным оборудованием и демонстрационными материалами» и «учебный процесс обеспечен научной и учебно-методической литературой», так как это является составляющими элементами УМК. В данном случае целевое значение было равно математическому ожиданию двух данных аспектов, которое попадает в интервал, равный 5 баллам. Удовлетворенность так же была равна математическому ожиданию от значения двух величин, что равнялось 4 баллам.

Требование «осуществляется ли директором института (деканом факультета, зав. кафедрой) контроль обновления УМК дисциплин?» соответствовало аспекту «все виды учебных занятий проводятся на высоком теоретическом и практическом уровне», так как от обновления УМК дисциплин зависит качество их преподавания. Целевое значение равно 3 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Требование «наличие положений и других регламентирующих документов для проведения текущего контроля, ежемесячной, промежуточной и итоговой государственной аттестации» соответствовало аспекту «к качеству знаний студента предъявляются высокие требования», так как от контроля и аттестации работы студентов зависит качество их знаний. Целевое значение равно 5 баллам. Удовлетворенность – 5 баллов.

Требование «наличие и осуществление проектирования и разработки программ и методического обеспечения для организации и проведения практик студентов» соответствовало аспекту «учебный материал включает практические аспекты», так как практические аспекты учебного материала представляют собой проведение практик. Целевое значение равно 5 баллам. Удовлетворенность – 4 балла.

Далее на основании полученных оценок в результате расчетов были определены значения степени улучшения, абсолютные и относительные значения весомости. Почти для всех требований, значения степени улучшений оказались равными 1,25, кроме трех, значения которых оказались равны единице. Соответственно, таким же образом распределились абсолютные и относительные значения весомости. Преобладающими были значения 5 и 4,42 соответственно, а в трех случаях значения были равны 4 и 3,54.

Абсолютные и относительные значения для каждой колонки суммарных оценок характеристик процесса были вычислены умножением абсолютного значения весовости требований потребителей на вес, соответствующий степени связи характеристик с требованиями. Результат выставлялся в конце строки (табл. 2), показывая степень важности характеристик продукта, т.е. приоритетные показатели качества для потребителя процесса [1].

Весовым значениям связей требований потребителей процесса и характеристик продукции были присвоены значения 2 – слабая связь, 5 – средняя связь, 10 – сильная связь, которые соответствуют символам Δ, ○ и ● в поле связей на рисунке 1. Номера слева по вертикали в поле связей на рисунке 1 соответствуют номерам требования потребителей процесса в таблице 2, номера вверху по горизонтали в поле связей на рисунке 1 соответствуют номерам характеристик процесса в таблице 3.

Наибольшие значения (в процентах) имеют следующие характеристики (табл. 3):

- 19,42 – человеческие ресурсы (персонал, участвующий в разработке процесса);
- 11,33 – ПП ОрелГТУ 72-04-01-2008 «СМК. Паспорт процесса. Проектирование и разработка ООП»;
- 10 – множительная техника;
- 7,35 – СТО ОрелГТУ 72-04-04-2009 «СМК. Учебный план. Общие требования»;
- 6,33 – СТО ОрелГТУ 72-04-03-2008 «СМК. Учебно-методический комплекс»;
- 5,39 – библиотечные ресурсы;
- 5,3 – компьютерная техника.

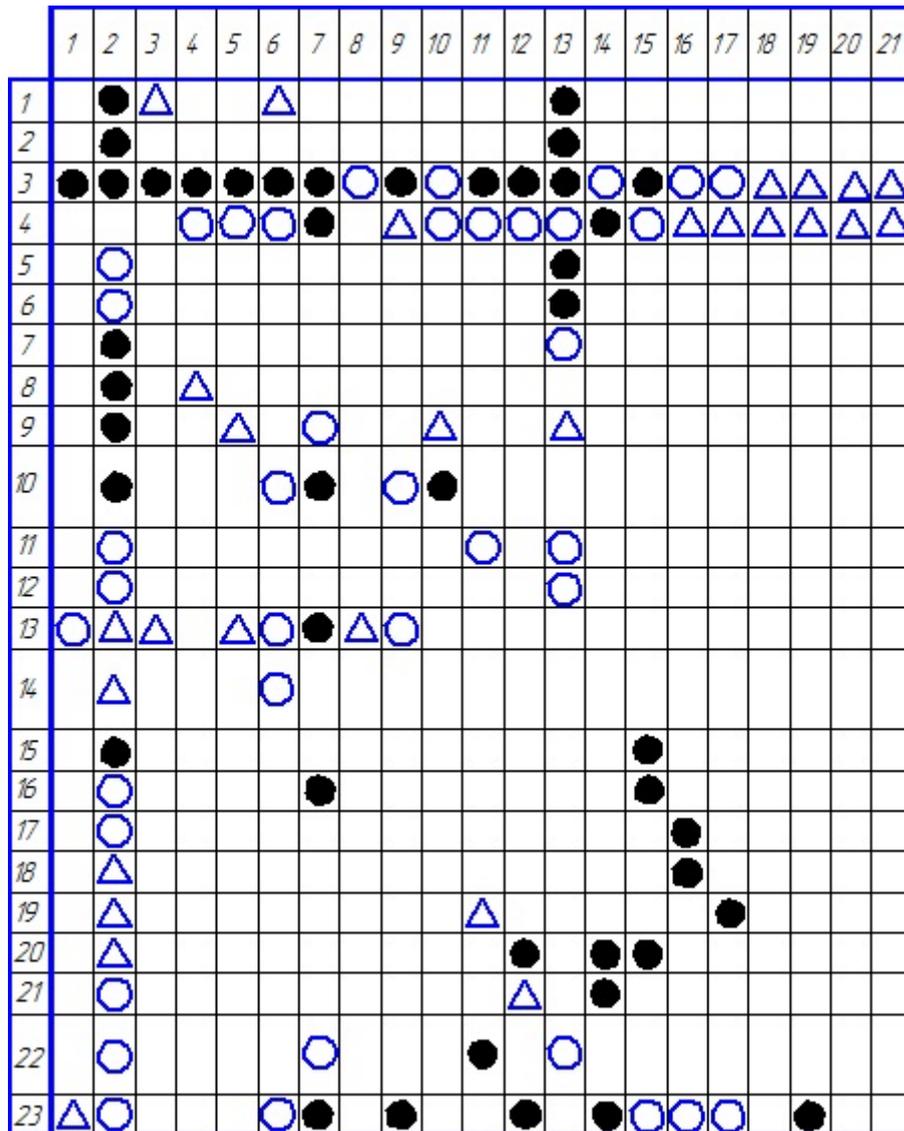


Рисунок 1 – Матрица связей требований потребителей процесса и характеристик продукции

Таблица 3 – Характеристики процесса и суммарные оценки их абсолютных и относительных значений

Характеристики процесса		Абсолютные значения	Относительные значения
1	2	3	4
1	Денежные средства на расходные материалы для компьютерной и множительной техники	85	2,5
2	Человеческие ресурсы (персонал, участвующий в разработке процесса)	660	19,42
3	Производственные помещения и производственная среда	70	2,06
4	Телефонная связь	85	2,5
5	Электронная связь	95	2,8
6	Компьютерная техника	180	5,3
7	Множительная техника	340	10
8	Энергоснабжение	35	1,03
9	Информационные ресурсы (программное обеспечение учебного процесса)	155	4,56
10	Рейтинговая система оценки деятельности кафедр и ППС	100	2,94
11	Локальная информационно-вычислительная сеть «Деканат»	160	4,71
12	Библиотечные ресурсы	183	5,39
13	ПП ОрелГТУ 72-04-01-2008 «СМК. Паспорт процесса. Проектирование и разработка ООП»	385	11,33
14	СТО ОрелГТУ 72-04-03-2008 «СМК. Учебно-методический комплекс»	215	6,33
15	СТО ОрелГТУ 72-04-04-2009 «СМК. Учебный план. Общие требования»	250	7,35
16	СТО ОрелГТУ 72-04-05-2009 «СМК. График учебных занятий высшего профессионального образования»	160	4,71
17	СТО ОрелГТУ 72-04-06-2008 «СМК. Рабочая программа учебной дисциплины высшего профессионального образования»	110	3,24
18	СТО ОрелГТУ 72-04-07-2008 «СМК. Самостоятельная работа студентов»	20	0,59
19	СТО ОрелГТУ 72-04-10-2009 «СМК. Практики. Методические указания»	70	2,06
20	СТО ОрелГТУ 72-04-11-2009 «СМК. Курсовой проект. Методическое пособие»	20	0,59
21	СТО ОрелГТУ 72-04-12-2009 «СМК. Выпускная квалификационная работа дипломированного специалиста»	20	0,59

Корреляционная матрица представлена на рисунке 2. Номера на рисунке 2 соответствуют номерам характеристик процесса в таблице 3. Матрица заполнялась символами, указывающими на положительные связи между соответствующими характеристиками продукции. Связи между ресурсами для реализации процесса и документированными процедурами, определяющими порядок выполнения процессов, выявлялись независимо друг от друга. Отрицательные связи выявлены не были. Наибольшим количеством связей обладают такие характеристики, как «человеческие ресурсы (персонал, участвующий в разработке процесса)», «компьютерная техника», «энергоснабжение», «ПП ОрелГТУ 72-04-01-2008 «СМК. Паспорт процесса. Проектирование и разработка ООП», «СТО ОрелГТУ 72-04-04-2009 «СМК. Учебный план. Общие требования».

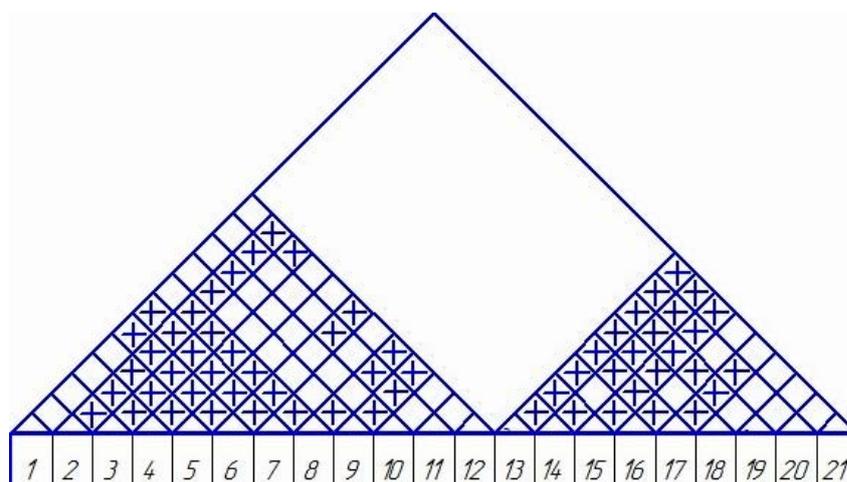


Рисунок 2 – Корреляционная матрица «Дома качества» «Процесса проектирования и разработки ООП»

## ВЫВОДЫ

Целевые значения требований потребителей процесса «Проектирование и разработка ООП» не значительно превосходят изначально существующую удовлетворенность данными требованиями, которые непосредственно ведут к удовлетворенности основных потребителей процессов Госуниверситета-УНПК – его студентов. Показатели трех требований: «определение необходимой компетентности и поддержание в рабочем состоянии записей об образовании, подготовке, навыках и опыте сотрудников, непосредственно связанных с процессом проектирования и разработки ООП», «осуществляется ли директором института (деканом факультета, зав. кафедрой) контроль обновления УМК дисциплин?», «наличие положений и других регламентирующих документов для проведения текущего контроля, ежемесячной, промежуточной и итоговой государственной аттестации» не нуждаются в улучшении по итогам анализа исследуемого процесса. Остальные процессы требуют улучшений.

Было выявлено, что наибольшее влияние на успешное функционирование исследуемого процесса оказывают такие его характеристики, как человеческие ресурсы (персонал, участвующий в разработке процесса) и паспорт процесса «ПП ОрелГТУ 72-04-01-2008 "СМК. Паспорт процесса. Проектирование и разработка ООП».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.: ил.
2. Социологическое исследование на тему: удовлетворенность студентов качеством образования в Госуниверситете-УНПК / Управление маркетингом образовательных услуг Госуниверситета-УНПК. Объем выборки 400 человек. Орел. 78 с.

### Кулаков Анатолий Федорович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, начальник управления качеством и инновационных технологий в образовании

Тел.: 8 (4862) 41-98-27

E-mail: kulakov@ostu.ru

### Полухин Тимофей Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел.: 8 915 500 08 02

E-mail: forreal28@gmail.com

A.F. KULAKOV, T.S. POLUKHIN

**APPLICATION OF QFD METHODOLOGY FOR ANALYSIS OF THE  
PROCESS «DESIGN AND DEVELOPMENT OF MAIN EDUCATIONAL  
PROGRAMS » IN STATE UNIVERSITY ESPC**

*The paper describes Quality Function Deployment (QFD) on the example of the process «design and development of main educational programs». The input parameters for process analysis were identified on the basis of sociological research on the topic "Student satisfaction in quality of education in State University ESPC". The dependences were identified between requirements and characteristics of the process and the correlations were identified between characteristics of the product of the process.*

**Keywords:** *Quality House, customer requirements, average importance, satisfaction of the requirements of the process, product features, target value, correlation matrix.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Gludkin, O.P. Vseobshhee upravlenie kachestvom: uchebnik dlja vuzov / O.P. Gludkin, N.M. Gorbunov, A.I. Gurov, Ju.V. Zorin. – M.: Radio i svjaz', 1999. – 600 s.: il.
2. Sociologicheskoe issledovanie na temu: udovletvorennost' studentov kachestvom obrazovaniya v Gosuniversitete-UNPK / Upravlenie marketingom obrazovatel'nyh uslug Gosuniversiteta-UNPK. Ob#em vyborki 400 chelovek. Orel. 78 s.

**Kulakov Anatolij Fyodorovich**

State University – Education Science Production Complex, Orel  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of quality and innovation in education department  
Ph.: 8 (4862) 41-98-27  
E-mail: kulakov@ostu.ru

**Polukhin Timofey Sergeevich**

State University – Education Science Production Complex, Orel  
Post-graduate student of department «instrument making, metrology and certification»  
Ph.: 8 915 500 08 02  
E-mail: forreal28@gmail.com

Ю.С. СТЕПАНОВ, Е.А. БЕЛКИН, В.Н. ПОЯРКОВ

## ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НАД ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИИ МИКРОРЕЛЬЕФА

*Дано обоснование применения приборов неразрушающего контроля над процессом формирования топографии микрорельефа, принцип действия которых основан на тестировании голографического изображения исследуемого объекта.*

**Ключевые слова:** тензор Римана-Кристоффеля, топография микрорельефа, система неразрушающего контроля, оптический профилограф.

### ВВЕДЕНИЕ

На этапе выполнения финишных операций, связанных с обработкой функциональной поверхности детали, происходит формирование микрорельефа поверхностного слоя по регламентируемым параметрам. В качестве параметров при использовании ныне существующих технологий обработки используют высоту микронеровностей и направление оценки микрорельефа поверхности. Необходимость регламентации параметров, позволяющих получить представление о форме микрогеометрии обработанной поверхности, обусловлена соответствием формируемого микрорельефа виду изнашивания функциональной поверхности детали в процессе ее эксплуатации.

В традиционных расчетах формообразующей поверхности инструмента отсутствует расчет топографии микрорельефа. Это связано с отсутствием достаточной информации о геометрической структуре микрорельефа как трехмерного образа в связи с использованием одномерного оценочного параметра-высоты микронеровностей.

Топография микрорельефа детали оценивается, как правило, после ее обработки, а не в процессе формирования микрорельефа. Методы САПР, применяемые для этой цели и представляющие микрорельеф как трехмерный геометрический образ, не используют понятие тензора Римана-Кристоффеля для оценки кривизны двухмерной поверхности в локальной области данной точки. В то же время тензор Римана-Кристоффеля связан с понятием соприкасающейся поверхности в локальной области данной точки поверхности. Соприкасающаяся поверхность позволяет дать представление о локальной области поверхности, сохраняя при этом ее кривизну. Методы инженерной геометрии, позволяющие связать кривизну поверхности с ее поверхностью соприкосновения, не разработаны. Поэтому при геометрическом представлении микрорельефа не представляется возможным восстановить его структуру с достаточной степенью точности, необходимой для прогнозирования его топографии как результата обработки детали и для контроля его геометрических параметров в ходе процесса обработки детали заготовки.

Таким образом, проблема состоит в том, что отсутствуют методы геометрического моделирования, позволяющие процесс формирования микрорельефа представить как трехмерную геометрическую модель. Если рассматривать реальный процесс формирования топографии микрорельефа, то в ходе этого процесса, кривизна микрорельефа в смысле Римана-Кристоффеля изменяется от точки к точке с течением времени в зависимости от способа обработки. Также отсутствуют методы, позволяющие аналитически описать суперпозицию геометрии и микрорельефа функциональной поверхности инструмента.

Данная проблема является актуальной при проектировании узлов и механизмов машин, к эксплуатационным свойствам деталей которых в трибосопряжениях предъявляются высокие требования. Известно, что износостойкость, усталостная прочность и другие эксплуатационные свойства в трибосопряжениях определяются в значительной степени формой микрорельефа поверхности.

Решение проблемы состоит в разработке методов нового подхода к моделированию геометрии микрорельефа [1, 2], позволяющего определить систему геометрических характеристик топографии микрорельефа, содержащих достаточно полную информацию для построения трехмерной модели его формирования.

В настоящее время авторами разработаны теоретические основы и методы геометрического моделирования формирования микрорельефа поверхности на основе тензора Римана-Кристоффеля. Предложен общий подход позволяющий сделать качественно новый переход к применению трехмерных геометрических моделей в исследовании процесса формирования микрорельефа поверхности, имеющих оптимальные параметры, которые обеспечивают наиболее полный учет технологических факторов, оказывающих влияние на эксплуатационные свойства детали.

Решена задача построения трехмерной геометрической модели, описывающей микрорельеф поверхности на основе модульного принципа структурирования поверхности сложной формы. Получено аналитическое представление соприкасающегося параболоида через главные кривизны поверхности  $k_1, k_2$ , что позволяет сделать численный расчет трехмерной геометрической модели микрорельефа поверхности. В отличие от известных моделей для описания микрорельефа данный подход позволяет дополнить в узлах каркасную модель восстановлением кривизны поверхности в смысле Римана-Кристоффеля. Основной характеристикой топографии микрорельефа принят тензор Римана-Кристоффеля.

Предложен новый набор критериев:  $k_1, k_2$  – главные кривизны поверхности,  $R_z$  – высота микронеровности. Эти критерии были предложены для количественной оценки микрорельефа поверхности. Как известно, критерии по ГОСТ 2789-73, позволяют провести в отношении топографии микрорельефа в основном качественную оценку.

Экспериментально подтверждена гипотеза о полноте информации предложенного набора критериев. Рекомендуется к практическому применению способ оценки микрорельефа поверхности [3], позволяющий восполнить недостаток информации о геометрии объекта, характерный для традиционных способов оценки микрорельефа.

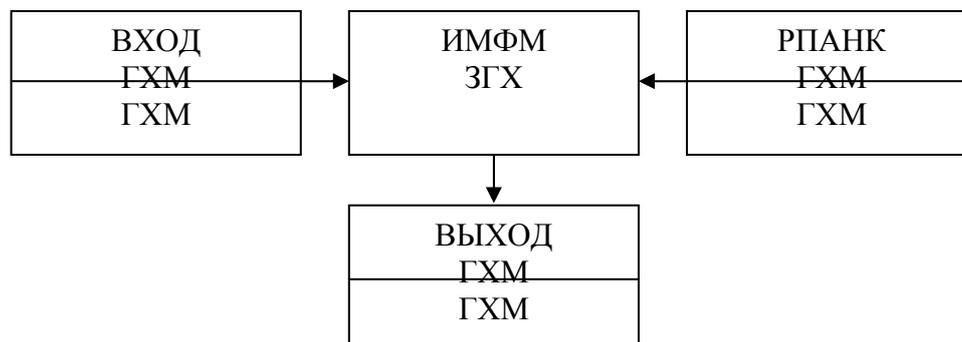
Разработаны методики численного расчета микрорельефа поверхности: методика для численного расчета микрорельефа плоской поверхности, позволяющая в отличие от известных методик получить топографию микрорельефа - представить микрорельеф как трехмерный геометрический образ – совокупность модулей – различных типов соприкасающегося параболоида, имеющих регламентируемую «сшивку»; методика для численного расчета микрорельефа круговой цилиндрической поверхности - шлифовального круга типа ПП (прямой профиль), в отличие от известных математических моделей, позволяющая дать достаточно полную оценку режущей способности инструмента; методика для численного расчета микрорельефа тела неправильной формы – абразивного зерна, которая в рамках одной трехмерной геометрической модели позволяет аналитически описать с высокой точностью геометрию зерна в целом и геометрию ее режущих кромок.

Разработана имитационная модель формирования микрорельефа по заданным геометрическим характеристикам. Выведены новые уравнения аналитического представления поверхности, формируемой соприкасающимися параболоидами при относительном движении инструмента. В отличие от известных, уравнений профиля детали и инструмента, описывающих плоские геометрические модели обработки, в них содержится достаточно полная, с точки зрения геометрических понятий, информация об изменении геометрии и микрогеометрии формообразующей и обработанной поверхности в зависимости от режимов обработки, параметров установки инструмента и т.д.

### **1. МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАД ВЫХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА**

В блок ИМФМЗГХ - имитационной модели формирования микрорельефа по заданным геометрическим характеристикам (рисунок 1) поступает информация из двух блоков: блока ВХОД-ГХМ - геометрические характеристики микрорельефа, соответствующие виду изнашивания детали и блока РПАНК-ГХМ - геометрические характеристики формируемого

микрорельефа. Геометрические характеристики формируемого микрорельефа могут быть получены посредством рентгенопрофилографа - прибора активного неразрушающего контроля - РПАНК, параметры установки инструмента и режимы обработки изменяются в соответствии с погрешностью измерения характеристик микрорельефа в блоке ВЫХОД - ГХМ.



*Рисунок 1 - Блок-схема структуры системы контроля над выходными характеристиками процесса формирования микрорельефа*

## **2. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРОВ ПАССИВНОГО И АКТИВНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ПРОВОДИТЬ ОЦЕНКУ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Современные приборы контроля сконструированы таким образом, что регистрирующие устройства фиксируют значения параметров с контурных карт объекта. Контурные карты определяются или с большими погрешностями или за достаточно большой интервал времени. Осуществить контроль над труднодоступным объектом – абразивным зерном, движущимся в материале детали, не представляется возможным. Существует один из путей расширения возможностей контролирующих устройств и использования информации, полученной с их помощью, для построения трехмерных моделей - применение приборов исследующих голографическое изображение объекта.

## **3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРОВ ПАССИВНОГО И АКТИВНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАД ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА**

Принцип контроля рассматриваемых приборов основан на последних исследованиях процессов получения голографического изображения объекта в оптическом и рентгеновском диапазонах. Приборы этой серии позволяют изучать процессы обработки не в проекции на плоскость, а в пространстве.

## **4. ОПТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛОГРАФ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, КОТОРОГО ОСНОВАН НА ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ МЕТОДЕ**

Известны профилографы, основанные на контактных способах измерения параметров микрорельефа поверхности. Чувствительный элемент этих устройств, представляет собой механический зонд (алмазную иглу), скользящий по поверхности, который через рычажный механизм передает информацию о микрорельефе в преобразующий элемент (индуктивный, пьезоэлектрический, электродинамический), где вырабатываются электрические сигналы, соответствующие вертикальным перемещениям зонда. Недостатками таких профилографов являются ограниченная способность регистрации в виде профилограммы лишь информации вдоль трассы перемещения зонда, повышенные конструктивно-технологические требования к алмазной игле и рычажному механизму (прочность, юстировка мест сопряжения деталей), что удорожает производство таких устройств. Кроме того, на этапах передачи информации от чувствительного элемента через преобразующий элемент в измерительную схему возникают различного рода искажения.

В качестве прототипа выбрано устройство копирования голограммы методом восстановления с предварительным увеличением, использующее восстановленное действительное

изображение, содержащее светодетель луча лазера, оптические преобразователи и регистрирующую среду - толстослойную эмульсию. Недостатком данного устройства является недостаточная степень увеличения восстанавливаемого изображения, что не позволяет получить контурные карты микрорельефа исследуемой поверхности для последующей обработки данных.

Предлагаемое устройство [4] прогнозируется для решения конкретной контрольно-измерительной задачи, которая состоит в обеспечении увеличения, точности и возможности измерений восстановленного голографического изображения микрорельефа контролируемого объекта. Это достигается тем, что в профилографе, содержащем светодетели луча лазера, оптические преобразователи, регистрирующие среды - толстослойные эмульсии, увеличение трехмерной интерференционной картины осуществляется микроскопом при записи и копировании голографического изображения микрорельефа поверхности, а для измерений используется индикатор электромагнитного поля.

### ВЫВОДЫ

1. Разработан способ определения топографии микрорельефа, позволяющий построить трехмерную геометрическую модель микрорельефа по экспериментальным данным.

2. Разработана модель структуры системы контроля над выходными характеристиками процесса формирования микрорельефа.

3. Дано обоснование возможности прогнозирования разработки приборов пассивного и активного неразрушающего контроля, позволяющих проводить оценку на основе трехмерных геометрических моделей.

4. Осуществлено прогнозирование разработки приборов пассивного и активного неразрушающего контроля над процессом формирования микрорельефа, принцип контроля которых основан на последних исследованиях процессов получения голографического изображения объекта в оптическом и рентгеновском диапазонах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин Е.А. Геометрическое моделирование формирования микрорельефа в магнитном поле // Прикладная геометрия. - Вып. 10. - №21. - 2008. - С. 57-58.
2. Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Поярков В.Н. Геометрическое моделирование микрорельефа поверхности и разработка приборов неразрушающего контроля нового поколения // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Сборник материалов X международной научно-практической Интернет-конференции, Марта – 30 июня 2012 г. / Под ред В.А. Голенкова В.А., А.Н. Качанова, Ю.С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2012. – С. 173 – 178.
3. Патент РФ № 2187070. Способ определения микрогеометрии поверхности детали и абразивного инструмента / Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Барсуков Г.В. Заяв. 27.02.2001. Оpubл. 10.08.2002. Бюл. № 22.
4. Патент РФ № 2215317. Профилограф / Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Барсуков Г.В. Заяв. 08.01.2002. Оpubл. 27.10.2003. Бюл. № 30.

#### **Степанов Юрий Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Д-р техн. наук, профессор

директор НОЦ ОрелНано

Тел.:(4862) 760048

E-mail: yury057@yandex.ru

#### **Белкин Евгений Александрович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Д-р техн. наук, старший научный сотрудник

Тел.:(4862) 760048

E-mail: molniy166@yandex.ru

#### **Поярков Вячеслав Николаевич**

ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов», к.т.н., генеральный директор

Тел.: (48640) 2-36-65, 2-32-94

E-mail: oaobzpp@list.ru

Y.S. STEPANOV, E.A. BELKIN, V. N. POYARKOV

## DEVICES DESIGN FOR THE ACTIVE CONTROL OF A MICRORELIEF FORMATION PROCESS

*A theory for the three dimensional (3D) geometrical model definition of surface layer micro-relief on the basis of a modular geometric principle is developed. A device design for the active control of a microrelief formation process the operation principle of which is based on the concept of dynamic holography is also developed. A microrelief formation technique by specified geometrics is developed.*

**Keywords:** *Riemann-Christopher' tensor, (3D) geometrical model of microrelief, inspection system, optical profilograph.*

1. Belkin E.A. Geometricheskoe modelirovanie formirovaniya mikrorel'efa v magnitnom pole /Prikladnaja geometrija. - Vyp. 10. - №21. – 2008. - S. 57-58.

2. Stepanov Ju.S., Belkin E.A., Pojarkov V.N. Geometricheskoe modelirovanie mikrorel'efa poverhnosti i razrabotka priborov nerazrushajuwegogo kontrolja novogo pokolenija //Jenergo- i resursosberezhenie – XXI vek: Sbornik materialov H mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj Internet-konferencii, Marta – 30 ijunja 2012 g. /Pod red V.A. Golenkova V.A., A.N. Kachanova, Ju.S. Stepanova. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2012. – S. 173 – 178.

3. Patent RF № 2187070. Sposob opredelenija mikrogeometrii poverhnosti detali i abrazivnogo instrumenta / Stepanov Ju.S., Belkin E.A., Barsukov G.V. Zajav. 27.02.2001. Opubl. 10.08.2002. Bjul. № 22.

4. Patent RF № 2215317. Profilograf / Stepanov Ju.S., Belkin E.A., Barsukov G.V. Zajav. 08.01.2002. Opubl. 27.10.2003. Bjul. № 30.

### **Stepanov Yury Sergejevich**

FSBEI HVT «State University - ESPC», Orel  
Doc.Sc.tech., Prof., director Research and Education Center OrelNano  
Phone:(4862) 760048  
E-mail: yury057@yandex.ru

### **Belkin Evgenie Alexandrovich**

FSBEI HVT «State University - ESPC», Orel  
Doc.Sc.tech., s.s.w.  
Phone:(4862) 760048  
E-mail: molniy166@yandex.ru

### **Poyarkov Vyacheslav Nikolayevich**

JSC «BZPP»,  
Can.Sc.tech., General director  
Phone:(48640) 2-36-65, 2-32-94  
E-mail: oaobzpp@list.ru

Т.А. АЛЕКСЕЕВА

## АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ С ПАРАМЕТРАМИ НА БАЗЕ СХЕМЫ «ДРЕЙФУЮЩИХ» ИНТЕРВАЛОВ

*В статье предлагается аналитический алгоритм решения экстремальных задач с параметрами, основанный на схеме «дрейфующих» интервалов. Использование предлагаемой методики позволяет рационально находить число точек экстремума функции в зависимости от входящего в нее параметра и устанавливать характер экстремума. Разработанный алгоритм допускает автоматизацию решения некоторых классов задач с параметрами в различных программных средах. Приводится подробное решение одной из задач с использованием указанного алгоритма.*

**Ключевые слова:** схема «дрейфующих» интервалов; экстремальные задачи с параметрами; критические точки; автоматизация решения; аналитический алгоритм.

### ВВЕДЕНИЕ

В практических приложениях, как правило, приходится иметь дело с математическими моделями, для которых требуется найти экстремальные значения моделирующей функции, зависящей от неизвестных параметров. Подобные задачи часто возникают в теории управления при изучении поведения входящих воздействий и отклика в зависимости от различных значений экзогенных параметров. Решение таких задач можно считать деятельностью, близкой по своему характеру к исследовательской. Это обусловлено, прежде всего, разнообразием классов задач, их многовариантностью и тем, что практически каждая задача с параметром допускает несколько методов решения. Кроме того, не смотря на то, что существуют различные приемы решения подобных задач [1, 2], наличие неизвестного параметра в модели подчас требует проведения уникального исследования в каждом конкретном случае, и не всегда может быть алгоритмизировано. В сложных случаях прибегают к численным методам решения или имитационному моделированию. При этом приходится мириться с неизбежностью погрешностей результатов. Получение же аналитического решения задачи обладает рядом теоретических и практических преимуществ.

Важность моделей с параметрами подтверждается значительным интересом к ним в элементарной математике. Неслучайно такого рода задачи встречаются в заданиях ЕГЭ последних лет (задание С5) [4]. Однако в курсах высшей и прикладной математики вузов задачам с параметрами практически не уделяют внимания, ограничиваясь стандартными «непараметрическим» случаями.

Достаточно большой класс задач связан с нахождением числа точек экстремума функции в зависимости от входящего в нее параметра и установлением характера экстремума. В имеющейся литературе часто приводятся геометрические методы решения подобных задач. Такие методы обычно применяются в простейших случаях, когда число критических точек, зависящих от параметра («дрейфующих»), не больше одной [3]. Если же функция имеет несколько «дрейфующих» критических точек, например, больше двух, то трудоемкость задачи при графическом решении возрастает многократно. При этом страдает строгость обоснования решения и его информативность. По логике мы должны на основании исследования поведения функции построить эскиз ее графика, а не наоборот.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Опыт автора показывает, что для решения некоторых классов экстремальных задач с параметрами могут успешно применяться аналитические приемы. Более того, наличие в современных системах компьютерной математики мощного символьного ядра позволяет автоматизировать реализацию этих задач, при этом каждый этап решения является прозрачным за счет вывода промежуточных результатов, которые в плане исследования являются не менее важными, чем конечный результат. В частности, использование встроенных и програм-

мируемых инструментов пакета Maple [5, 6] позволяет максимально автоматизировать исследование некоторых типов задач.

Рассмотрим на примере один из аналитических приемов решения экстремальных задач с параметрами, основанный на использовании комбинации достаточного условия существования экстремума функции и метода интервалов, который лишен указанных выше недостатков. Естественность реализации, логика и строгость обоснования делают эту методику эффективным инструментом для решения целого класса задач из подобной линейки. Используемый прием было решено назвать схемой «дрейфующих» интервалов.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Исследовать функцию  $f = f(x, a)$  на экстремум в зависимости от значений параметра  $a$ .

Следует отметить, что в общем случае функция  $f(x, a)$  может быть представлена кусочно-непрерывной нелинейной функцией.

**АЛГОРИТМ**

1. Описать модель в виде однозначных функций, указав их область определения в зависимости от неизвестного параметра.
2. Найти критические точки полученных моделирующих функций в зависимости от значений параметра.
3. Ввести индикаторные функции, отражающие взаимное попарное расположение критических точек в зависимости от значений параметра.
4. Определить с помощью индикаторных функций интервалы возможного изменения параметра, связанные с «дрейфом» критических точек, и знак индикаторных функций.
5. Определить с помощью знака индикаторных функций взаимное расположение критических точек в зависимости от значений параметра.
6. Найти знаки первых производных моделирующей функции для каждого интервала изменения параметра.
7. Определить точки экстремума и экстремальные значения функции для каждого интервала значений параметра.

**Пример**

Для каждого значения параметра  $a$  определить точки экстремума функции

$$f(x) = x^2 - 3x - 2 \cdot \begin{cases} x^2 - (a+2)x + 2a \\ \end{cases}$$

и установить характер экстремума.

**Решение**

**I. Описание функции**

1)  $D(f) = R$ ;

2) функция  $f(x)$  может быть представлена аналитически следующим образом:

$$\left[ \begin{array}{l} f(x) = f_1(x) = x^2 - 3x - 2x^2 + 2(a+2)x - 4a, \\ \text{если } x^2 - (a+2)x + 2a \geq 0; \\ f(x) = f_2(x) = x^2 - 3x + 2x^2 - 2(a+2)x + 4a, \\ \text{если } x^2 - (a+2)x + 2a < 0. \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\left[ \begin{array}{l} f(x) = f_1(x) = -x^2 + (2a+1)x - 4a, \\ \text{если } (x-2)(x-a) \geq 0; \\ f(x) = f_2(x) = 3x^2 - (2a+7)x + 4a, \\ \text{если } (x-2)(x-a) < 0. \end{array} \right.$$

График функции  $y = f(x)$  состоит из частей двух парабол  $y = f_1(x)$  и  $y = f_2(x)$ , пересекающихся в точках с абсциссами  $x = 2$  и  $x = a$ .

При  $a = 2$   $(x-2)(x-a) = (x-2)^2 \geq 0 \Leftrightarrow x \in R$ . Тогда для  $x \in R$   
 $f(x) = x^2 - 3x - 2|x^2 - 4x + 4| = x^2 - 3x - 2(x-2)^2 = -x^2 + 5x - 8 = f_1(x)$ .

Абсцисса вершины параболы  $x_0 = 2,5$ .

II. Критические точки функции

1) При  $(x-2)(x-a) > 0$   $f'(x) = f_1'(x) = -2x + (2a+1)$ .

$f_1'(x) = 0 \Leftrightarrow x = \frac{2a+1}{2} = x_{01}$  - абсцисса вершины первой параболы;

2) при  $(x-2)(x-a) < 0$   $f'(x) = f_2'(x) = 6x - (2a+7)$ .

$f_2'(x) = 0 \Leftrightarrow x = \frac{2a+7}{6} = x_{02}$  - абсцисса вершины второй параболы;

3) абсциссы точек «склейки» парабол  $x = 2$  и  $x = a$ ; производные функции в этих точках  $f'(2)$  и  $f'(a)$  не существуют.

III. Исследуем знак  $f'(x)$  для различных случаев взаимного расположения критических точек относительно друг друга. Для этого рассмотрим индикаторные функции:

$$\varphi_1(a) = x_{01} - x_{02} = \frac{2a+1}{2} - \frac{2a+7}{6} = \frac{2(a-1)}{3};$$

$$\varphi_2(a) = x_{01} - a = \frac{2a+1}{2} - a = 0,5 > 0 \Rightarrow x_{01} > a;$$

$$\varphi_3(a) = x_{02} - a = \frac{2a+7}{6} - a = \frac{-4a+7}{6};$$

$$\varphi_4(a) = x_{01} - 2 = \frac{2a+1}{2} - 2 = \frac{2a-3}{2};$$

$$\varphi_5(a) = x_{02} - 2 = \frac{2a+7}{6} - 2 = \frac{2a-5}{6};$$

$$\varphi_6(a) = a - 2.$$

Определим области знакопостоянства этих функций в зависимости от параметра  $a$  (рис. 1).

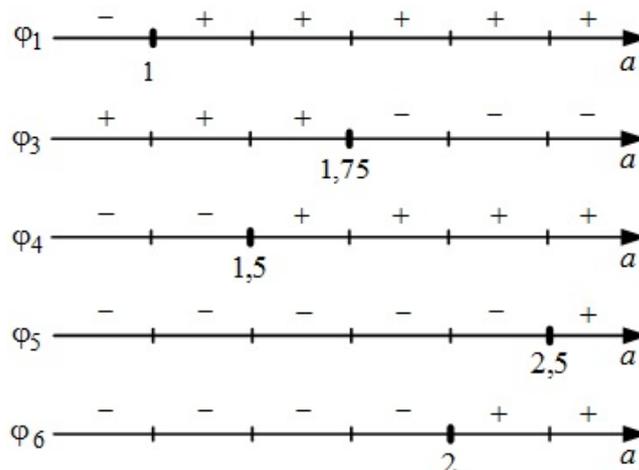


Рисунок 1

Используя полученные данные, рассмотрим следующие единственно возможные случаи:

1)  $a < 1$

$a < x_{01} < x_{02} < 2$  (рис.2)

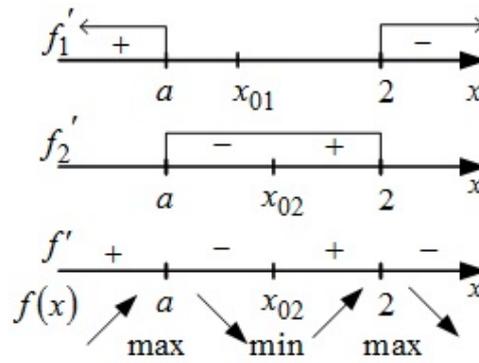


Рисунок 2

2)  $a = 1$   
 $a < x_{01} = x_{02} < 2$  (рис.3)

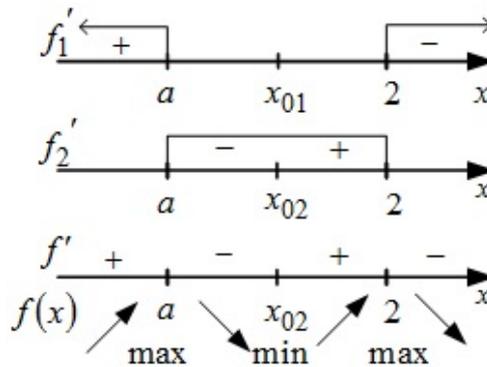


Рисунок 3

3)  $a \in (1; 1,5)$   
 $a < x_{02} < x_{01} < 2$  (рис.4)

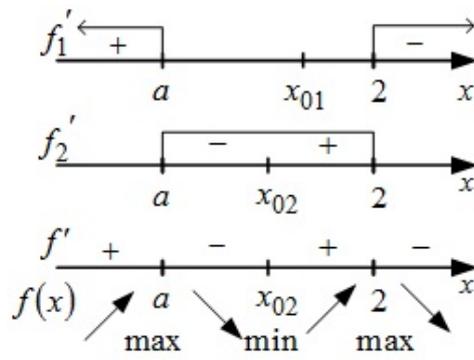


Рисунок 4

4)  $a = 1,5$   
 $1,5 = a < x_{02} < x_{01} = 2$  (рис.5)

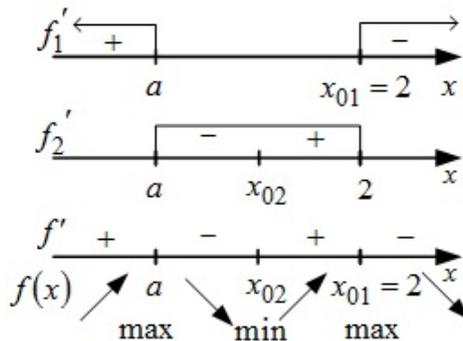


Рисунок 5

5)  $a \in (1,5; 1,75)$

$a < x_{02} < 2 < x_{01}$  (рис.6)

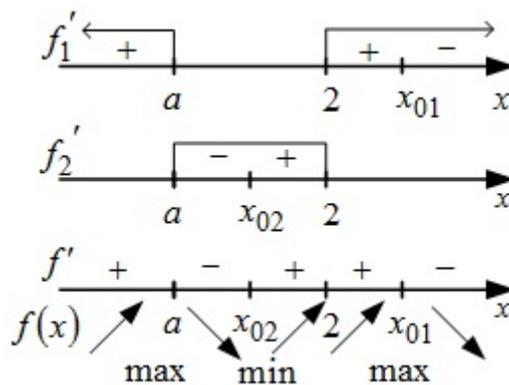


Рисунок 6

6)  $a = 1,75$

$a = x_{02} < 2 < x_{01}$  (рис.7)

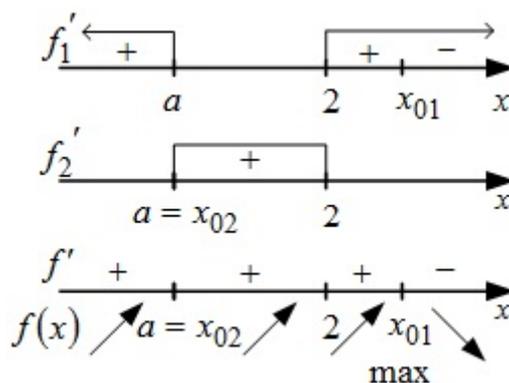


Рисунок 7

7)  $a \in (1,75; 2)$

$x_{02} < a < 2 < x_{01}$  (рис.8)

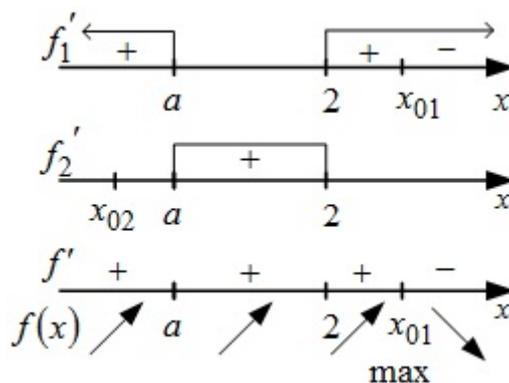


Рисунок 8

8)  $a = 2$

$a = 2 < x_{01}$  (рис.9)

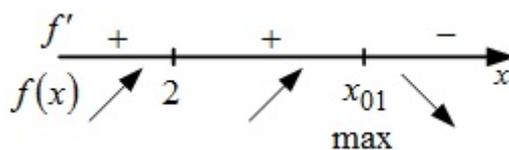


Рисунок 9

9)  $a \in (2; 2,5)$

$x_{02} < 2 < a < x_{01}$  (рис.10)

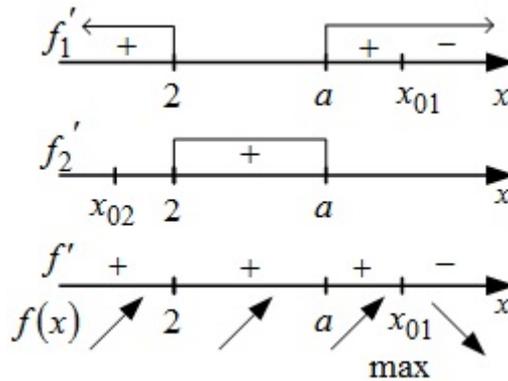


Рисунок 10

10)  $a = 2,5$

$x_{02} = 2 < a < x_{01}$  (рис.11)

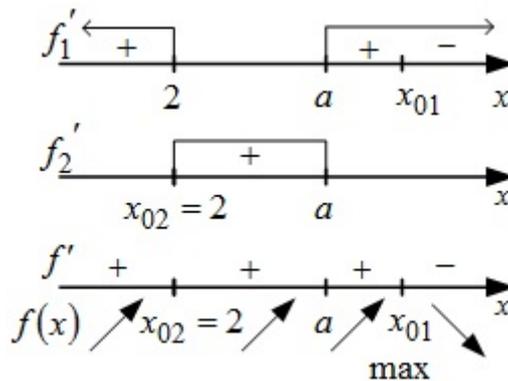


Рисунок 11

11)  $a > 2,5$

$2 < x_{02} < a < x_{01}$  (рис.12)

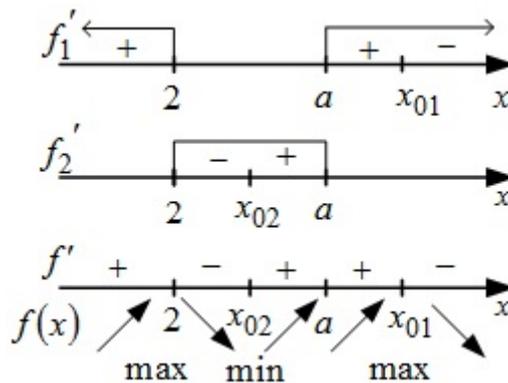


Рисунок 12

Из рисунков 2-12 следует, что решены все вопросы относительно точек экстремума данной функции, а именно, для каждого значения параметра  $a \in (-\infty; +\infty)$  определено количество точек экстремума, найдены их координаты и установлен характер экстремума в этих точках.

Следует обратить внимание на способ определения взаимного расположения критических точек относительно друг друга. Сначала определяются в зависимости от параметра  $a$  все индикаторные функции  $\varphi_i(a)$ , которыми задается положение критических точек относи-

тельно друг друга, затем решаются неравенства, определяющие знаки функций  $\varphi_i(a)$ , и лишь после этого с помощью изображения областей знакопостоянства этих функций на числовой оси (рис. 1) мы получили возможность свести отдельные неравенства в системы.

Преимущество рассмотренной схемы заключается в следующем:

- 1) система неравенств, задающая положение критических точек относительно друг друга, решается только один раз при определении областей знакопостоянства индикаторных функций  $\varphi_i(a)$ ;
- 2) схема позволяет исследовать только те случаи, которые единственно возможны в рамках полученного набора индикаторных функций  $\varphi_i(a)$ , и избавляет от ненужной работы, связанной с формулировкой и решением систем неравенств, соответствующих тем возможностям, которые не могут иметь места.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает практика, предложенная схема «дрейфующих» интервалов является достаточно универсальной и позволяет эффективно решать целые классы экстремальных задач с параметрами для функций различных видов и разного уровня сложности.

Важным плюсом данного приема является то, что он достойно вписывается в программу высшей математики вузов, поскольку дает возможность расширять постановку задач в разделе «Дифференциальное исчисление». Традиционные же постановки задач, в которых при поиске экстремумов функции ограничиваются статическим случаем, когда экстремумы являются «фиксированными», не зависящими от изменяющегося параметра, вообще говоря, являются «идеализированными» моделями. В практических приложениях различных предметных областей, включая экономику, технические науки, экологию, биологию, медицину и др., представляют интерес модели, содержащие неизвестный параметр, значения которого влияют на оптимальные (экстремальные) решения задачи. Обучение приемам обращения с подобными моделями полезно вводить в соответствующих разделах элементарной и высшей математики.

Предлагаемый алгоритм допускает автоматизацию для определенного класса задач и не критичен к программным средствам. Он может быть реализован средствами процедурных или объектно-ориентированных языков программирования. В этом плане представляет интерес использование систем компьютерной математики, особенно современных средств создания GUI-приложений. В частности, активно развивающиеся Maple-технологии системы Maple [5] могут стать эффективным инструментом для автоматизации исследования рассмотренных моделей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации / Ф.П. Васильев. - М.: Издательство «Факториал Пресс», 2002. – 824 с.
2. Маркин, Д.Л. Метод решения многоэкстремальных задач с невыпуклыми ограничениями, использующий априорную информацию об оценках оптимума / Д.Л. Маркин, Р.Г. Стронгин // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1987. - Т. 27. – Вып.1. – С. 52-62.
3. Марков, В.К. Метод координат и задачи с параметрами / В.К. Марков. – М.: Изд-во Московского университета, 1970. – 146 с.
4. ЕГЭ-2012. Математика: типовые экзаменационные варианты: 30 вариантов / под ред. А.Л. Семенова, И.В. Яценко. – М.: Национальное образование, 2011. – 192 с.
5. Кирсанов, М.Н. Maple и Maple. Решения задач механики / М.Н. Кирсанов. - СПб.: Издательство "Лань", 2012. – 512 с.
6. Аладьев, В.З. Программирование и разработка приложений в Maple: монография/ В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба. – Гродно: ГрГУ; Таллинн: Межд. Акад. Ноосферы, Балт. отд, 2007. - 458 с.

Алексеева Татьяна Анатольевна

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, г. Санкт-Петербург

Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математики

Тел. 8(812)560-06-00

E-mail: alexeeva.tia@inbox.ru

T.A. ALEXEEVA

## ALGORITHM OF THE STUDY OF EXTREME PROBLEMS WITH PARAMETERS BY THE «DRIFTING» INTERVALS SCHEME

*The article under review presents the analytical algorithm for extreme problems with parameters solving. The of «drifting» intervals permits to find out rationally the number of function's extreme points depending on parameters included and to estimate the kind of extremum. The developed algorithm allows the automation solutions of certain classes of problems with parameters in different software environments The detailed solution of one problem by the method mentioned above is demonstrated.*

**Keywords:** *scheme of «drifting» intervals; extreme problems with parameters; critical points; computerization solutions; analytical algorithm.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Vasil'ev, F.P. Metody optimizacii / F.P. Vasil'ev. M.: Izdatel'stvo «Faktorial Press», 2002. – 824 s.
2. Markin, D.L. Metod reshenija mnogojeksremal'nyh zadach s nevypuklymi ogranichenijami, ispol'zujushhij apriornuju informaciju ob ocenkah optimuma / D.L. Markin, R.G. Strongin // Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoj fiziki, 1987. T. 27. –Vyp.1. – S. 52-62.
3. Markov, V.K. Metod koordinat i zadachi s parametrami / V.K. Markov. – M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1970. – 146 s.
4. EGJe-2012. Matematika: tipovye jekzamenacionnye varianty: 30 variantov / pod red. A.L. Semenova, I.V. Jashhenko. – M.: Nacional'noe obrazovanie, 2011. – 192 s.
5. Kirsanov, M.N. Maple i Maplet. Reshenija zadach mehaniki / M.N. Kirsanov. SPb.: Izdatel'stvo "Lan", 2012. – 512 s.
6. Alad'ev, V.Z. Programmirovanie i razrabotka prilozhenij v Maple: monografija/ V.3. Alad'ev, V.K. Bojko, E.A. Rovba. – Grodno: GrGU; Tallinn: Mezhd. Akad. Noosfery, Balt. otd, 2007. 458 s.

**Alexeeva Tatiana Anatolievna**

National Research University Higher School of Economics, Saint-Petersburg

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics

Tel. 8(812)560-06-00

E-mail: alexeeva.tia@inbox.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями**  
**к оформлению научных статей.**

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
  - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - не применять произвольные словообразования;
  - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

*Рисунок 1 – Текст подписи*

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unprk.ru](http://www.gu-unprk.ru).

*Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.*

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

*Адрес учредителя*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. (4862) 42-00-24  
Факс (4862) 41-66-84  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: unpk@ostu.ru

*Адрес редакции*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»  
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 55-05-81  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: met\_lit@ostu.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Григорьева О.Ю.  
Компьютерная верстка Григорьева О.Ю.

Подписано в печать 14.06.2013 г.  
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10.  
Тираж 600 экз.  
Заказ № 119/13П2

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе  
ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.