



**МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

Новосибирск, 2012 г.

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

**Т 38 «Технические науки — от теории к практике»:** материалы XI международной заочной научно-практической конференции. (25 июня 2012 г.); [под ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — 120 с.

ISBN 978-5-4379-0108-3

Сборник трудов XI международной заочной научно-практической конференции «Технические науки — от теории к практике» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных технических наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области прикладной науки и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития технических наук.

ББК 30

ISBN 978-5-4379-0108-3

Рецензенты:

- кандидат физико-математических наук, Зеленская Татьяна Евгеньевна, Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)
- кандидат технических наук, Полонский Яков Аркадьевич, эксперт высшей квалификации Единой Системы Оценки Соответствия (г. Волгоград)

© НП «Сибирская ассоциация консультантов», 2012 г.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Инженерная графика, САПР, CAD, CAE</b>	<b>6</b>
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ Гусейнов Агил Гамид оглы	6
<b>Секция 2. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>14</b>
ОКРЕСТНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАСКРЫВАЮЩИЕ ПОНЯТИЕ ОКРЕСТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА Чистик Игорь Константинович	14
ЛОКАЛИЗАЦИЯ СУБОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ НРС-ЗАДАЧ Чистик Игорь Константинович	20
МЕТОД РЕКУРРЕНТНОГО ПОСТРОЕНИЯ ФАКТОРИАЛЬНЫХ ФОРМ ЦЕПЕЙ В ОКРЕСТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА Чистик Игорь Константинович	25
<b>Секция 3. Электроника</b>	<b>30</b>
ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА Пахоменков Юрий Михайлович	30
<b>Секция 4. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>36</b>
УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ Терехова Ольга Александровна Марголит Ремир Борисович	36
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ЦЕПНОГО ПРИВОДА ШТАНГОВОГО НАСОСА ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ Ногаев Нурлан Аскарлович Баесов Алибек Каирлиевич Дружинин Вячеслав Михайлович Ахметов Сайранбек Махсутович	44

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЕБАНИЙ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН Полищук Андрей Дмитриевич Гаранкина Елена Николаевна	55
ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ Рахмилевич Евгений Георгиевич	61
<b>Секция 5. Энергетика и энергетические техника и технологии</b>	<b>66</b>
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Семенов Александр Сергеевич	66
<b>Секция 6. Строительство и архитектура</b>	<b>72</b>
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КРОВЕЛЬ ИЗ РУЛОННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОДХОДЫ К ИХ ВЫБОРУ Еропов Лев Алексеевич	72
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ Клюева Наталья Витальевна Азжеуров Олег Владимирович	77
<b>Секция 7. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>81</b>
ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКТИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ЯБЛОЧНЫХ ВЫЖИМОК С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ Корнена Елена Павловна Печерица Мария Алексеевна Степанова Евгения Григорьевна	81
<b>Секция 8. Приборостроение, метрология, радиотехника</b>	<b>85</b>
НЕЛИНЕЙНЫЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ Андреева Анастасия Викторовна Галишников Роман Михайлович	85

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ Еськов Александр Васильевич Маецкий Александр Владимирович Яковлев Сергей Валентинович	91
СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Заец Сергей Сергеевич Еськин Максим Сергеевич	97
АМПЛИТУДНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА Патрушева Татьяна Васильевна Патрушев Егор Михайлович	104
<b>Секция 9. Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология</b>	<b>110</b>
АДСОРБЦИЯ МЕТАЦИДА НА БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЕ Балыкбаева Гулжан Толепбергенкызы	110
<b>Секция 10. Нанотехнологии и наноматериалы</b>	<b>114</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ Илясов Виктор Васильевич Нгуен Ван Чыонг	114

## **СЕКЦИЯ 1.**

### **ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ**

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ**

*Гусейнов Агил Гамид оглы*  
*канд. техн. наук, доцент СГУ, г. Сумгаит, Азербайджан*  
*E-mail: [aqil.55@mail.ru](mailto:aqil.55@mail.ru)*

#### **MATHEMATICAL RESEARCH OF THE SYSTEM OF CONSTRUCTOR DESIGN OF FLEXIBLE MANUFACTURE SYSTEM**

*Aqil Huseynov*  
*Candidate. Technical, Associate Professor of Sumgait State University*

#### **АННОТАЦИЯ**

В работе изложены основные методические принципы, разработанные в ходе создания и эксплуатации САПР для ранних стадий проектирования на базе типовых конструктивных элементов. Определено, что при решении большинства задач в области автоматизированного конструирования в явном виде используется геометрическая модель изделия, однозначно определяющая форму проектируемого объекта. Рассмотрены некоторые аспекты предпринятого подхода к созданию структурной модели ГПС на основе моделей, составляющих узлов и деталей.

#### **ABSTRACT**

In the paper the basics methodical principals, worked out by CAD creation and exploitation for the first stage of machining objects on the base type constructive elements are defined. It is defined that at decision of many problems of computing construction area, by real form, geometrical model of manufacture is used. The some aspects of the mode method of creation of FMS structure model on he base of he details and it hem units are considered.

**Ключевые слова:** конструкторского проектирования; гибкой производственной системы; геометрическая модель.

**Keywords:** constructor design; flexible manufacture system; geometrical model.

Любое проектирование, в том числе и автоматизированное, представляет собой конструирование, подкрепленное соответствующим проектным обоснованием. В данном случае под конструированием понимается генерация формы объекта с учетом функциональных требований, а под проектным обоснованием — различные виды экспериментальных и расчетных процедур [5].

Таким образом, одной из центральных проблем разработки САПР является ограниченная взаимосвязь конструкторских процедур с расчетными. Особенно это актуально для САПР, призванных автоматизировать начальные стадии проектирования сложных объектов машиностроения, имеющих многоуровневую структуру.

Целью настоящей работы является изложение основных методических принципов, разработанных в ходе создания и эксплуатации САПР для ранних стадий проектирования, на базе типовых конструктивных элементов (КЭ).

Характерной особенностью исследования сложных объектов машиностроения является их представление в виде многоуровневой неоднородной иерархической структуры с большим числом составных элементов, являющихся, в свою очередь, достаточно сложными объектами. Первоначально по описываемой методологии определяется иерархическая структура составных элементов объекта с фиксацией рассматриваемого уровня иерархии. Поэтому существенна стадия проектирования, для которой создается САПР и от которой зависит выбор степени детализации и точности математических моделей.

На выбранном уровне детализации процесс проектирования объекта подвергается декомпозиции на исследованные проектные процедуры — этапы проектирования, которым соответствуют конкретные КЭ данного уровня иерархии:

$$\begin{aligned} \Pi^j &\rightarrow \langle \Pi_1^j, \Pi_2^j, \dots, \Pi_r^j \rangle; \\ \Pi_\ell^j &\rightarrow \mathcal{E}_\ell^j, \mathcal{E}_\ell^j = \{ \mathcal{E}_{\ell 1}^j, \mathcal{E}_{\ell 2}^j, \dots, \mathcal{E}_{\ell p}^j \}, \end{aligned}$$

где:  $\Pi^j, \Pi_\ell^j, \mathcal{E}_\ell^j$  — процесс проектирования,  $\ell$  -й этап проектирования,  $\ell$  -й КЭ объекта (все для  $j$ -го уровня иерархии) соответственно.

Центральным является выделение проектных параметров, определяющих особенности технического исполнения КЭ и названных управляющими параметрами (Р). Последние являются с точки зрения описания структуры объекта — признаками КЭ. Все параметры

разбиваются на группы, соответствующие конкретным этапам. В каждую группу входит только параметры, влияющие на техническое исполнение КЭ, соответствующих данному этапу:

$$П^j \rightarrow P^j = \{u_1^j, u_2^j, u_3^j, \dots, u_m^j\} \rightarrow \bigcup_{\ell=1}^r \{P_\ell^j\};$$

$$П_\ell^j \rightarrow \{P_\ell^j\};$$

Для каждой группы строится граф  $G_\ell^j = (P_\ell^j, E_\ell^j)$ . Маршруты в этом графе определяют варианты отдельных КЭ, соответствующих данному этапу.

Вышеописанная методология позволяет осуществить построение САПР со структурой, базирующиеся на формировании соответствующего графического представления формы отдельных КЭ и объекта в целом.

При этом целесообразна систематизация источников информации для конструктора, приступающего к проектированию и ли конструированию изделия. Следует учитывать, что конструктор чаще всего использует графические модели, преобразуя их в процессе проектирования. Поэтому при автоматизации конструирования необходимо обеспечить исходную информацию в графическом представлении, а также систематизацию и сходных информационных моделей. Систематизация исходных информационных моделей дает возможность унифицировать проектные процедуры и операции преобразования исходных информационных моделей и обеспечивает единство требований к информационному обеспечению САПР на этапе конструирования и выпуска конструкторской документации. По виду преобразований исходных моделей в процессе конструирования все модели различаются по уровням в зависимости от применяемых унифицированных проектных процедур (исключение, дополнение и объединение).

Методической основой реализации унифицированных проектных процедур преобразования исходных информационных моделей является ориентировочная основа деятельности конструктора, инвариантная к методам и средствам проектирования, последовательности, которой приведены ниже:

1. Анализ и изучение состава проектируемой сборочной единицы, принципа действия сборочной единицы.
2. Определение конструктивного вида детали проектируемой технической системы.
3. Определение различных характеристик деталей и изучение требований к точности изготовления детали.
4. Выполнение чертежа детали (изображение детали, технических требований и технологических директив).



Трехступенчатое членение детали на структурные единицы является достаточным по глубине структурирования. И это позволяет в полной мере использовать все унифицированные проектные процедуры не только на этапе формирования изображения детали, но и на этапе формирования изображения детали, но и на этапе создания базы данных из графических примитивов.

Синтез машиностроительных деталей из ФЭ в САПР вполне закономерен и обусловлен следующими обстоятельствами. При обычном конструировании конструктор синтезирует детали из ФЭ по мере расчета и выбора их параметров. Этот естественный и первичный процесс сохраняется и в условиях автоматизированного проектирования. Каждый ФЭ имеет вполне определенную геометрическую форму и поэтому является частью геометрического описания синтезируемой детали. Функциональные элементы являются носителями признаков синтезируемой детали [2].

Функциональные элементы так же, как детали и узлы, можно разделить на ФЭ общего и специализированного назначения, из которых синтезируют, соответственно, детали общего и специализированного назначения.

Следовательно, можно отметить что, любая деталь условно расчленяется на взаимосвязанные ФЭ различной степени сложности, каждый из которых имеет вполне определенное функциональное назначение. Каждый ФЭ имеет фиксированную геометрическую форму и обладает стабильным набором конструкторско-технологических признаков.

Учитывая вышеописанные, можно отметить что, конструктивные геометрические модели объекта могут быть получены следующим образом [1]:

1. Модель определяется комбинацией конструктивных элементов, каждый из которых образуется как совокупность, ограничивающих его поверхностей.
2. Модель определяется теоретико-множественными операциями над конструктивными элементами.

Важно отметить, что в качестве конструктивных элементов часто используется призма, конус, пирамида, цилиндр и др.

В настоящее время в качестве геометрических моделей изделия наиболее широко используются конструктивная геометрия, в который имеется базовый набор объемных примитивов и сложный объект формируется из них посредством теоретико-множественных операций объединения, пересечения и разность. Для произвольных деталей форма  $i$ -й детали  $F$  определяется множеством составляющих ее типовыми фрагментами формы детали. Это формально в общем виде записывается следующим образом [2]:

$$F_1 = \bigcup_{k=1}^{\infty} t f d_k ;$$

$$m = \{1, 2, \dots, \ell\},$$

где:  $m$  — это разрешенные для использования  $tfd$  — (типовыми фрагментами формы детали).

Таким же способом можно получить структурные модели узлов проектируемого технического устройства и в целом проектируемого устройства.

Полный цикл проектирования требует применения таких моделей объектов, которые обладают необходимой информацией для конструкторского анализа. Для того необходимо иметь интегрированную многокомпонентную модель, содержащую модель структуры изделия.

С этой целью первоначально определяется иерархическая структура составных элементов ГПС с фиксацией рассматриваемого уровня иерархии.

Модель конструктивной геометрии (структурная) является весьма удобной для реализации интерактивных процедур при решении задач синтеза геометрической формы объекта. Она может оказаться также полезной при решении задач моделирования динамики объемных конструкции, например механизмов роботов, двигателей и др. [3].

В соответствии с положениями теории иерархических систем ГПС можно представить семейством моделей, каждая из которых описывает поведение и структуру системы с точки зрения различных уровней абстрагирования.

Пусть ГПС состоит из  $N_1$  узлов. Тогда, математическую модель ГПС формально можно записать в следующем виде:

$$S = \bigcup_{i=1}^{N_1} S_1 \quad (1)$$

где:  $S_1$  — стандартные и нестандартные узлы, входящие в состав ГПС. Причем узлом может быть робот, манипулятор, транспортная система, нестандартное захватное устройство и т. д. Учитывая, что каждый стандартный и нестандартный узел тоже состоит из разного количества деталей, модель узлов можно представить в следующей форме:

$$S = \bigcup_{j=1}^{N_2^i} S_{ij}, \quad (2)$$

где:  $S_{ij}$  — стандартные и нестандартные детали,

$N_2^i$  — количество деталей  $i$  — узла ГПС.

Количество деталей ГПС определяется следующей суммой:

$$N_2 = \sum_{i=1}^{N_1} N_2^i = N_2^1 + N_2^2 + N_2^3 + \dots + N_2^{N_1} \quad (3)$$

В соответствии с трехступенчатым членением деталей и четвертым уровнем структурной схемы для деталей, входящих в узлы и ГПС, получается следующая математическая модель:

$$S_{ij} = \bigcup_{k=1}^{N_3^{ij}} S_{ijk} \quad (4)$$

где:  $S_{ijk}$  — структурные базовые элементы стандартных и нестандартных деталей входящих в узлы ГПС,

$N_3^{ij}$  — количество структурных базовых элементов i-го узла j-ой детали.

Надо отметить, что структурным базовым элементам относится функциональная часть деталей. В данном случае, общее количество структурных базовых элементов деталей, входящих в состав ГПС, вычисляется следующей суммой:

$$N_3 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2^i} N_3^{ij} = \left( N_3^{11} + N_3^{12} + \dots + N_3^{11N_2} \right) + \left( N_3^{21} + N_3^{22} + \dots + N_3^{2N_2} \right) + \left( N_3^{31} + N_3^{32} + \dots + N_3^{3N_2} \right) + \dots + \left( N_3^{N_1 1} + N_3^{N_1 2} + \dots + N_3^{N_1} \right) \quad (5)$$

Структурные базовые элементы, имеющие сложную геометрическую форму, могут быть подразделены на элементы более низкого порядка, имеющие более простую геометрическую форму, называемые конструктивными элементами. Модель структурных базовых элементов деталей, которая содержит в себе конструктивные элементы, задается формулой:

$$S_{ijk} = \bigcup_{\ell=1}^{N_4^{ijk}} S_{ijkl} \quad (6)$$

где:  $S_{ijkl}$  — конструктивные элементы, составляющие структурные базовые элементы стандартных и нестандартных деталей узлов ГПС;

$N_4^{ijk}$  — количество конструктивных элементов k-го базового элемента j-ой детали i-го узла ГПС.

Исследования показали, что при трехмерном геометрическом моделировании конструктивными элементами могут быть различные поверхности или геометрические примитивы (призма, конус, цилиндр и др.), при двухмерном геометрическом моделировании — разные поверхности и точка, линия, дуга и др.

Количество конструктивных элементов вычисляется следующим образом:

$$N_4 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_3} N_4^{ijk} \quad (7)$$

Если формула (6), (4) и (2) учитываются в формуле (1), тогда общая математическая модель ГПС получается в таком виде:

$$S = \prod_{i=1}^{N_1} \prod_{j=1}^{N_2} \prod_{k=1}^{N_3} \prod_{\ell=1}^{N_4} S i j k \ell \quad (8)$$

где:  $S i j k \ell$  — геометрические примитивы, из которых образуются 2Д и 3Д геометрические модели, а также структурные модели, узлы и сам ГПС.

В результате проводимых исследований определяется количество узлов ( $N_1$ ), входящих в структуру ГПС, количество деталей в отдельных узлах и общее число структурных базовых элементов ( $N_3$ ) в ГПС, а также количество конструктивных элементов или геометрических примитивов ( $N_4$ ), которые образуют структурную модель ГПС, узлов и деталей. В этом случае структурная модель ГПС компонуется из  $N_1 \times N_2 \times N_3 \times N_4$  числа конструктивных элементов. Однако, нельзя отрицать возможность участия в конструкции ГПС одинаковых или похожих узлов несколько раз. А также возможно повторное использование в конструкции ГПС одинаковых или похожих деталей, структурных и конструктивных базовых элементов и конструктивных элементов. Это затрудняет процесс проектирования объектов и повышает объем выполняемых работ в процессе проектирования [5].

Поэтому, определяется возможность решения инженерных задач внутримашинным способом на основе геометрической модели с выводом результатов с помощью графических средств или наглядной графической модели.

С этой целью, создается библиотека базовых графических моделей с использованием современных CAD систем, в данном случае использованием AUTOCAD.

При создании библиотеки базовых графических моделей на основе конструктивных и структурных элементов, повторяющихся и много использованных элементов конструкции ГПС, включается библиотеку один раз.

Параметры, определяющие количество элементов, входящих в состав структуры ГПС, минимизируются:

$$N_1^1 = (N_1 \rightarrow \min)$$

$$N_2^1 = (N_2 \rightarrow \min)$$

$$N_3^1 = (N_3 \rightarrow \min)$$

$$N_4^1 = (N_4 \rightarrow \min)$$

В результате уточняется количество неповторяющихся узлов ( $N_1^1$ ), деталей ( $N_2^1$ ), структурных базовых элементов ( $N_3^1$ ) и конструктивных элементов ( $N_4^1$ ) ГПС, которые в графической модели сохраняются в библиотеке базовых графических моделей для дальнейшего создания и получения двухмерных и трехмерных структурных моделей ГПС.

С описываемыми подходом разработанных в САПР ГПС, ориентированных на конструирование, когда объект проектирования собирается из которых конструктивных, функциональных, технологических элементов простой формы, применяют метод синтеза объектов из объемных базовых элементов формы. При таком методе синтеза объектов над геометрическими объектами производится теоретико-множественным операции. В результате синтеза в компьютере формируется модель конструктивной геометрии или структурная модель ГПС. При моделировании компоновки узла процесс сборки реализуется в три этапа.

На первом этапе осуществляется поиск деталей, имеющих общие коммуникативные признаки, соединяемые между собой. На втором этапе решается задача метрико-топологической корректности собираемой конструкции. На третьем этапе проверяется корректность компоновки в геометрическом смысле.

Данная модель является удобным средством поддержания операций формирования модели геометрии объектов из КЭ.

### **Список литературы:**

1. Амальник М.С. Методология конструирования механизмов в САПР. Автоматизация проектирования, 1998, № 1.
2. Вагин В.Н., Клишин В.В., Филиппов О.В. Иерархическая фреймво-продукционная модель представления знаний о машиностроительном объекте проектирования. Техническая кибернетика, 1991, № 3.
3. Гейдаров Х.М., Гусейнов А.Г., Рагимов Ш.Р. Структурное моделирование ГПС и его реализация в различных режимах работы. Интеллектуальные системы управления и принятия решений. Тематический сборник научных трудов, № 3, Баку, изд-во АГНА, 1999.
4. Информационные технологии: приоритетные направления развития: монография / О.В. Вильчинская, И.Н. Гатауллин, А.Г. Гусейнов и др. / Под общ. Ред. С.С. Чернова. — Книга 5. — Новосибирск: Издательство «СИБПРИНТ», 2010. — 261 с.
5. Кузнецов С.А., Карлсон Н.Н., Иоффе О.С. К вопросу о построении объектной среды конструктора в САПР машиностроительных деталей. Вестник машиностроения, 1989, № 10.

## СЕКЦИЯ 2.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### ОКРЕСТНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАСКРЫВАЮЩИЕ ПОНЯТИЕ ОКРЕСТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА

*Чистик Игорь Константинович*  
аспирант кафедры ВТ и АСУ, г. Краснодар  
E-mail: [chistik1986@list.ru](mailto:chistik1986@list.ru)

#### NEIGHBORHOOD OF A STATISTICAL GLOBAL OPTIMUM. THE MAIN DETERMINATIONS AND THE CHARACTERISTICS UNCOVERING CONCEPT OF NEIGHBORHOOD STATISTICAL GLOBAL OPTIMUM

*Igor Chistik*  
Post-graduate student, chair of CF and ACS,  
Krasnodar

#### АННОТАЦИЯ

В статье раскрывается общий смысл окрестности статистического глобального оптимума (СГО), характеризующие данное понятие параметры, а также наиболее благоприятные условия для вычисления оптимального результата при помощи построения окрестности СГО.

Одной из главных характеристик окрестности СГО является ее ширина. Ширину окрестности необходимо задавать величиной такой малости, при которой мощность множества будет примерно соответствовать прогнозируемому объёму поиска, так как практическое решение задач ограничивается временем и количеством проверяемых решений.

В случае задания большой ширины окрестности СГО при малом времени поиска либо малом объёме, поиск будет неэффективным, так как внутри окрестности СГО поиск упорядочен не по уменьшению вероятности решений, а по увеличению ФФЦ.

## ABSTRACT

In article the general sense neighborhoods statistical global optimum (SGO), characterizing given concept parameters, and also optimum conditions for calculation of optimal result by means of creation of neighborhood SGO is uncovered.

One of the main characteristics of a vicinity of SGO is its width. The width of a vicinity is necessary for setting in size of such smallness at which the capacity of a set will correspond to approximately predicted volume of search as the practical solution of tasks is limited to time and number of checked decisions.

In case of a task of big width of a vicinity of SGO at small time of search or small volume, search will be inefficient as in SGO vicinity search is ordered not on reduction of probability of decisions, and on increase in FFCh.

**Ключевые слова:** окрестность; эвристика; вероятность; оптимум.

**Keywords:** neighborhood; heuristics; probability; optimum.

### 1. Основное определение окрестности СГО

#### Определение 1

Точная  $\varepsilon$ -окрестность СГО есть множество  $\Pi_\varepsilon$  цепей  $\pi_i$ , вероятность которых меньше вероятности  $P_0$  СГО не более, чем на априорно заданную величину  $0 \leq \varepsilon \leq P_0$

$$\Pi_\varepsilon = \{\pi_i \mid P(\pi_0) - P(\pi_i) \leq \varepsilon\}.$$

Величина  $\varepsilon$  является шириной окрестности. На рисунке 1 изображен пример точной  $\varepsilon$ -окрестности СГО для экспериментальной функции вероятности  $P(i)$  оптимальных цепей  $\pi_i(5,6)$ . Данная окрестность включает решения (0, 2, 6, 12) в порядке увеличения факториальных форм цепей (ФФЦ). Именно при таком порядке вычислительные затраты достигают минимума. В случае упорядочения точной  $\varepsilon$ -окрестности СГО по уменьшению вероятности решений (0, 6, 12, 2) вычислительные затраты возрастают при сохранении суммы вероятностей  $P_0 + P_2 + P_6 + P_{12} = \text{Const}$ .

#### 2. Граничные значения ширины окрестности

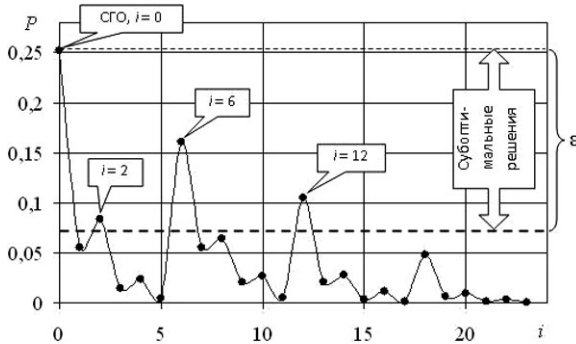
- При  $\varepsilon = 0$ , точная окрестность СГО содержит одно «Беллмановское» решение для каждого конструктора  $K_i$  структур  $z_i$ . В данном случае поиск решения сводится к одному из методов динамического программирования, соответствующему используемой эвристике  $K_i$ .

- При  $\varepsilon = P_0$ , точная окрестность СГО включает все решения пространства поиска. В данном случае поиск решения сводится к

методу обхода дерева «сначала вглубь» и может быть остановлен либо по времени, либо по количеству проверенных вариантов решений.

Наибольший интерес представляет собой поиск субоптимального решения при  $\epsilon \rightarrow 0$  для  $n \rightarrow \infty$ .

Способы задания величины  $\epsilon$  рассматриваются для каждого метода построения окрестности СГО отдельно.



**Рисунок 1** — Точная  $\epsilon$ -окрестность СГО на упорядоченной по увеличению ФФЦ функции вероятности  $P(i)$  оптимальных цепей  $\pi_i(5,6)$

На данный момент не существует методов построения точной окрестности СГО ввиду сложности построения эвристик, априорно оценивающих величину  $P_i$  по рангам цепи  $\pi_i = (r_1, r_2, \dots, r_k)$ . В настоящей статье рассматривается  $\epsilon$ -окрестность с изменяемой на величину  $\xi$  шириной, названная  $(\epsilon + \xi)$ -окрестность. Для такой окрестности в работе были построены эвристики, которые позволяют априорно оценить величину  $P_i$  по рангам цепи  $\pi_i(n, k) = (r_1, r_2, \dots, r_m)$  на ранних этапах вычисления веса  $h(\pi_i)$ , то есть для  $m < k$ .

**Определение 2**

Гибкая  $(\epsilon + \xi)$ -окрестность СГО есть множество  $\Pi_{\epsilon\xi}$  цепей  $\pi_i$ , вероятность которых меньше вероятности  $P_0$  СГО не более, чем на ширину окрестности  $0 \leq \epsilon + \xi \leq P_0$ , где  $\xi$  — изменяемый параметр ширины,  $\frac{\epsilon}{\xi} \gg 1$

$$\Pi_{\epsilon\xi} = \{ \pi_i \mid P(\pi_0) - P(\pi_i) \leq \epsilon + \xi \}.$$

Величина  $\epsilon + \xi$  является шириной окрестности. На рисунке 2 изображён пример  $(\epsilon + \xi)$ -окрестности СГО для экспериментальной



функции вероятности  $P(i)$  оптимальных цепей  $\pi_i(5,6)$ . Данная окрестность включает цепи (0, 6, 8, 12, 18) в порядке увеличения ФФЦ.

### Определение 3

Реальная  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестность СГО есть множество  $P'_{\varepsilon\xi}$  ФФЦ, вес которых проверен в ходе поиска,  $P'_{\varepsilon\xi} \subset P_{\varepsilon\xi}$ .

Для  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестности СГО, изображённой на рисунке 2, возможные варианты реальной  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестности, то есть реализованной практически, могут быть следующими:  $P'_{\varepsilon\xi} = \{0,6,8,12,18\}$ ,  $P'_{\varepsilon\xi} = \{0,6,8,12\}$ ,  $P'_{\varepsilon\xi} = \{0,6,8\}$ ,  $P'_{\varepsilon\xi} = \{0,6\}$ ,  $P'_{\varepsilon\xi} = \{0\}$ .

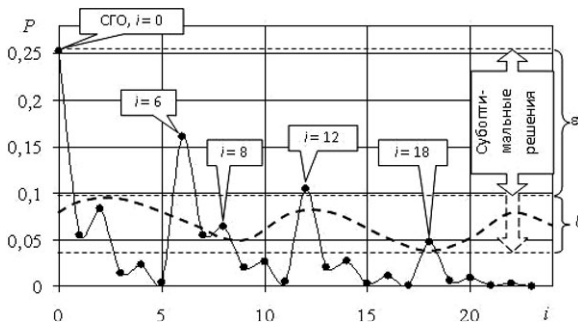
### 3. Показатели эффективности поиска в окрестности СГО

- Объём поиска есть количество  $K$  проверенных решений из окрестности  $P_{\varepsilon\xi}$  СГО,  $K \leq |P_{\varepsilon\xi}|$ .

- Приведённый объём поиска есть отношение объёма поиска к ширине окрестности поиска  $K' = \frac{K}{\varepsilon + \xi}$ ,  $K \leq |P_{\varepsilon\xi}|$ . Максимальное значение данного показателя позволяет определить объём (либо ширину окрестности) наиболее эффективного поиска при заданной ширине окрестности (либо объёме).

- Плотность поиска есть отношение объёма поиска к теоретической мощности множества  $\Pi_{n,k}$  всех альтернатив  $\rho = \frac{(n-k)!}{n!} K$ .

- Приведённая плотность поиска есть отношение объёма поиска к мощности  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестности СГО  $\rho' = \frac{K}{|P_{\varepsilon\xi}|}$ . Данный показатель позволяет оценить завершённость проверки всех решений в СГО  $P_{\varepsilon\xi}$ .



**Рисунок 2. Гибкая  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестность СГО на упорядоченной по увеличению ФФЦ плотности распределения вероятности  $P(i)$  оптимальных цепей  $\pi_i(5,6)$**

На практике решение задачи ограничивается либо временем, либо количеством проверяемых решений, поэтому ширину окрестности необходимо задавать величиной такой малости, при которой мощность множества  $\Pi_{\varepsilon\xi}$  будет примерно соответствовать прогнозируемому объёму поиска  $K \approx |\Pi_{\varepsilon\xi}|$ .

В случае задания большой ширины окрестности СГО при малом времени поиска (либо малом объёме) поиск будет неэффективным, так как внутри окрестности СГО поиск упорядочен не по уменьшению вероятности решений, а по увеличению ФФЦ. Данный случай демонстрируется на рисунке 3, где показано, что для малого объёма поиска  $K = 5$  и выбранной большой ширины окрестности СГО реальная  $(\varepsilon + \xi)$ -окрестность  $\Pi'_{\varepsilon\xi} = \{0,1,2,3,4\}$ . Это является одной из причин неэффективного поиска, так как большая часть решений —  $\{1,3,4\}$  содержит маловероятные цепи. В данном случае, для  $K = 5$ , ширина окрестности должна быть уменьшена до такой величины, при которой реализованная на практике окрестность  $\Pi'_{\varepsilon\xi} = \{0,2,6,8,12\}$  или близкой к ней.

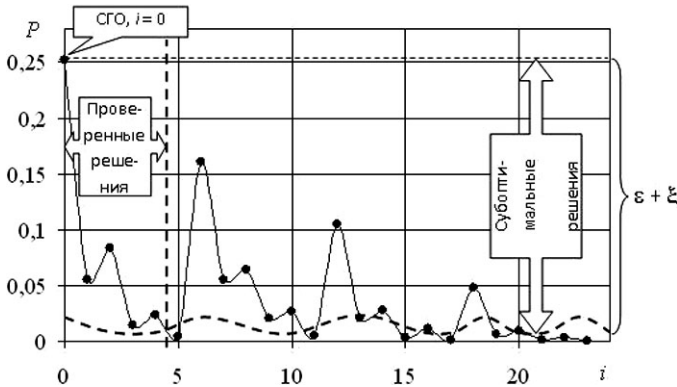
#### 4. Условия линеаризации ширины $(\varepsilon + \xi)$ -окрестности

При  $n \rightarrow \infty$  параметром  $\xi$  можно пренебречь, так как для максимизации приведённого объёма поиска ширина окрестности должна быть величиной, близкой к нулю  $\varepsilon + \xi \rightarrow 0$ . Данной условие обосновывается тем, что при большой размерности входных данных вероятность СГО мало отличается от вероятности субоптимальных решений, а также тем, что согласно второму свойству пространства поиска решений, — с ростом  $n$  вероятность статистического глобального оптимума  $\pi_0(n, k)$  стремится к нулю  $\lim_{n \rightarrow \infty} P(\pi_0(n, k)) = 0$ .

- Для алгоритмов, использующих останов по времени  $T$  (либо по объёму  $K$ ), в случае большой величины  $T$  ( $K$ ) можно допустить  $\varepsilon = \text{Const}$ ,  $\xi = 0$ .

- Для алгоритмов с приведённой плотностью поиска  $\rho' = 1$  в случае большой ширины окрестности можно допустить  $\varepsilon = \text{Const}$ ,  $\xi = 0$ .

Так как прикладные задачи, как правило, имеют большую размерность исходных данных, то вышеописанные условия на практике выполняются. Используем свойства пространства поиска для того, чтобы найти эвристики  $r_{i+1} = h^r(s^{(i)})$ , управляющие переходом  $NP$ -полной системы. Посредством данных эвристик недетерминированный переход  $s^{(i)} \rightarrow s^{(i+1)}$  преобразуется в детерминированный  $s^{(i)} \xrightarrow{r_{i+1}} s^{(i+1)}$ .



**Рисунок 3.** Точная & окрестность СГО на упорядоченной по увеличению ФФЦ плотности распределения вероятности  $P(i)$  оптимальных цепей  $\pi(5,6)$

**Список литературы:**

1. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.
2. Корн Г, Корн Т. Справочник по математике. Определения, теоремы, формулы. 6-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2003. — 832 с.
3. Макконелл Дж. Основы современных алгоритмов. 2-е дополненное издание: Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.
4. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 512 с.

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ СУБОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ NPC-ЗАДАЧ

*Чистик Игорь Константинович*  
аспирант кафедры ВТ и АСУ, г. Краснодар  
E-mail: [chistik1986@list.ru](mailto:chistik1986@list.ru)

## LOCALIZATION OF SUBOPTIMUM SOLUTIONS OF NPC-TASKS

*Igor Chistik*  
Post-graduate student, chair of CF and ACS,  
Krasnodar

### АННОТАЦИЯ

Труднорешаемые (трудные) задачи имеют большое число приложений, поэтому их решение представляет значительный интерес. По виду решения эти задачи можно разделить на два класса — задачи, имеющие точное решение и задачи, допускающие приближённое решение. Данная статья посвящена одному подходу к приближённому решению NPC-задач. NPC-задачи, допускающие приближённое решение относятся к классу NP задач, содержащих в своих условиях оптимизацию целевой функции. Такая постановка трудной задачи — есть достаточный признак того, что задача допускает приближённое решение.

### ABSTRACT

The difficult solved (difficult) tasks have a large number of appendices therefore their decision represents considerable interest. By the form decisions can be divided these tasks into two classes — the tasks having the exact decision and tasks, allowing the approximate decision. This article is devoted to one approach to the approximate solution of NPC tasks. The NPC tasks allowing the approximate decision belong to the class of NP of the tasks containing in the conditions optimization of criterion function. Such statement of a difficult task — is a sufficient sign of that the task allows the approximate decision.

**Ключевые слова:** оптимизация; функционал; локализация; гармоника.

**Keywords:** optimization; functional; localization; harmonica.

## 1. Определение NPC-задач, имеющих приближённое решение

Пусть форма представления решения задана в общем случае семейством рекурсивных уравнений  $z_i = K(x, z_j)$ , где  $x$  — исходные данные задачи. Пусть функционал  $g(z) : \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{R}^+$ , определённый на множестве  $\mathcal{M}$  структур  $z$ , является весом структуры  $z$ . Тогда  $g(z)$  является количественной мерой, согласно которой все возможные решения  $(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_m)$ , можно упорядочить от наихудшего решения  $z_1$  до наилучшего (оптимального)  $z_{\text{opt}}$  решения, согласно заданному критерию, например критерию минимальности:

$$g(z_1) \geq g(z_2) \geq \dots \geq g(z_i) \geq \dots \geq g(z_{\text{opt}}).$$

Класс NPC-задач, имеющих приближённое решение, составляют задачи с целевым функционалом  $g(z)$  если выполняются условия:

- 1) целевой функционал  $g(z)$  вводит порядок на множестве  $\mathcal{M}$ ;
- 2) исходное множество  $\mathcal{M}$  не упорядочено по  $g(z)$ ;
- 3) на множестве возможных решений  $(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_m)$  значение функционала  $g(z_{i+1})$  не зависит от значений  $\{g(z_1), g(z_2), \dots, g(z_i)\}$  или указанная зависимость до сих пор не найдена (в дальнейшем изложении будем называть это условием независимости значений функционала);

4) постановка задачи требует нахождения в  $\mathcal{M}$  такого  $z_{\text{opt}}$ , для которого выполняется один из критериев  $\{\min g(z_{\text{opt}}), \max g(z_{\text{opt}}), \min (g(z_{\text{opt}}) - g_0)\}$ , где  $g_0$  — априорно заданная величина веса решения.

Согласно свойствам локализации субоптимальных решений в пространстве поиска ФФЦ субоптимальных решений локально равноудалены друг от друга на расстояние  $\Delta$ , зависящее только от  $n$  и требуемого объёма поиска.

### Определение 1

$i$ -я гармоника — множество цепей  $\pi(n, k)$ , факториальная форма которых делится без остатка на величину  $(n - 1 - i)!$ .

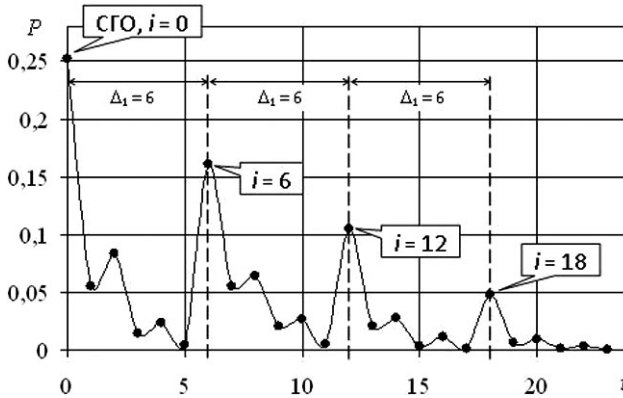
Нулевая гармоника содержит одну цепь с нулевой ФФЦ — статистический глобальный оптимум. Цепи  $i$ -й гармоники удалены друг от друга на расстояние

$$\Delta_i = (n - 1 - i)!, \quad (1)$$

Расстояние между цепями  $\pi(n, k)$  достигает минимума при  $i = k$ .

Гармоники с меньшими номерами содержат больше субоптимальных цепей. На рисунке 1 показаны ФФЦ (0, 6, 12, 18) первой гармоники для задачи Б1 (Задача Б1: найти цепь  $\pi(n, n+1)$  с наименьшим весом  $h(\pi)$  на полном неориентированном графе с порядком  $n$ . На веса рёбер наложено ограничение в виде неравенства треугольника, то есть для трёх произвольных вершин графа веса смежных рёбер  $x, y, z$  подчиняются неравенству  $x \leq y + z$ ) определения

оптимальной цепи  $\pi(5,6)$ . Расстояние между цепями  $\Delta_1 = (n - 2)! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ .



**Рисунок 1 — ФФЦ  $i = 0, 6, 12, 18$  первой гармоники в задаче определения оптимальной цепи  $\pi(5,6)$**

Для проверки цепей  $\pi(n, k)$   $m$ -й гармоники предлагается строить окрестность СГО посредством арифметической прогрессии с шагом  $\Delta_m$  и объёмом поиска  $d$

$$\Pi_{n,k}^*(m, d) = \{f_0^{(k)}, f_i^{(k)} \mid f_i^{(k)} = f_{i-1}^{(k)} + \Delta_m, i \in \mathbb{Z}^+, i \leq d\}, \quad (2)$$

где  $f$  — ФФЦ,

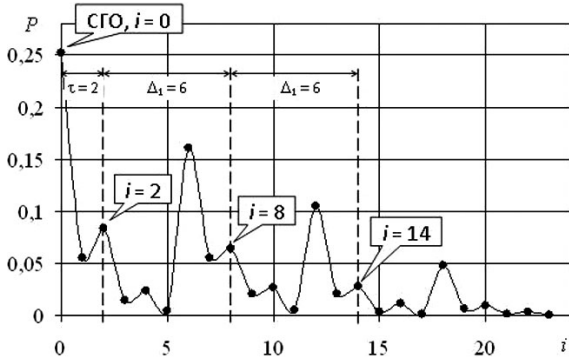
$d$  — объём поиска, или рекуррентной формулой

$$\Pi_{n,k}^*(m, d) = \{f_0^{(k)}, f_i^{(k)} \mid f_i^{(k)} = f_0^{(k)} + i \cdot \Delta_m, i \in \mathbb{Z}^+, i \leq d\}. \quad (3)$$

Сдвиг  $m$ -й гармоники на величину  $\tau$  позволяет, начиная с ФФЦ  $f_\tau$ , строить окрестность  $\Pi_{n,k}^*(m, \tau, d)$  СГО, определяемую по формуле

$$\Pi_{n,k}^*(m, \tau, d) = \{f_\tau^{(k)}, f_i^{(k)} \mid f_i^{(k)} = f_\tau^{(k)} + i \cdot \Delta_m, i \in \mathbb{Z}^+, i \leq d\}. \quad (4)$$

На рисунке 2 показаны ФФЦ (2, 8, 14) первой гармоники  $\Pi_{5,6}^*(1,2,3)$  объёмом  $d = 3$ , сдвинутой на  $\tau = 2$  от СГО для задачи Б1 определения оптимальной цепи  $\pi(5,6)$ . Расстояние между цепями  $\Delta_1 = (n - 2)! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ .



**Рисунок 2 — Факториальные формы  $i = 2, 8, 14$  цепей  $\pi(5,6)$  первой гармоники, сдвинутой на  $\tau = 2$**

## 2. Локализация субоптимальных решений на основе выбора рангов факториальных форм цепей

### Теорема 1

При построении окрестности СГО в виде последовательности цепей  $\pi(n,k)$  с шагом  $\Delta_\pi = r_i \cdot (n-i)!$  оценка вычислительных затрат  $\delta_\pi$  на построение каждой цепи определяется неравенством

$$k-i+1 \leq \delta_\pi \leq k.$$

### Доказательство

По определению разности

$$\Delta_\pi = A - B = a_1 a_2 \dots a_k - b_1 b_2 \dots b_k = c_1 c_2 \dots c_k.$$

Перепишем условие теоремы в ФСС

$$\Delta_\pi = r_i \cdot (n-i)! = 0_1 0_2 \dots r_i \dots 0_k.$$

Приравняем оба выражения для  $\Delta_\pi$

$$c_1 c_2 \dots c_i \dots c_k = 0_1 0_2 \dots r_i \dots 0_k.$$

Таким образом, ФФЦ двух цепей отличаются друг от друга в одном  $i$ -ом разряде  $c_i = r_i$ . Следовательно, по определению функции маскирования ФФЦ  $\Xi(A \wedge B) = i$  и

$$\delta_\pi(A, B) = k - \Xi(A \wedge B) + 1 = k - i + 1.$$

При  $i = 1$  шаг максимальный  $\Delta_\pi = r_1 \cdot (n-1)!$  и вычислительные затраты  $\delta_\pi = k$ . При  $i = k$  шаг минимальный  $\Delta_\pi = r_k \cdot (n-k)!$  и вычислительные затраты  $\delta_\pi = 1$  ■

### Теорема 2

Окрестности СГО в виде последовательности цепей  $\pi(n,k)$  в которой для построения каждой очередной цепи требуется не менее  $\delta_\pi$  переходов, имеет оценку величины шага  $\Delta_\pi$

$$1 \leq \Delta_\pi \leq (\delta_\pi - 1)!.$$

### Доказательство

Вычислительные затраты по условию теоремы

$$\delta_{\pi} \geq k - \Xi(A \wedge B) + 1.$$

Старший значащий разряд, в котором отличаются две ФФЦ  $A$  и  $B$

$$\Xi(A \wedge B) \leq k - \delta_{\pi} + 1.$$

Пусть

$$\Delta_{\pi} = A \oplus B = a_1 a_2 \dots a_k \oplus b_1 b_2 \dots b_k = c_1 c_2 \dots c_k.$$

По свойствам функции маскирования можно определить такую разность  $C = c_1 c_2 \dots c_i \dots c_k$ , что

$$c_1 c_2 \dots c_i \dots c_k = 0_1 0_2 \dots r_i \dots 0_k,$$

где  $i = \Xi(A \wedge B)$ . По определению разности

$$\Delta_{\pi} = 0_1 0_2 \dots r_i \dots 0_k = r_i \cdot (n - i)! = r_i \cdot (n - \Xi(A \wedge B))!.$$

Разность двух ФФЦ  $A \neq B$  минимальна при  $r_i = 1$ . Подставляем неравенства для  $\Xi(A \wedge B)$  и  $r_i$

$$\Delta_{\pi} = (n + \delta_{\pi} - k - 1)!.$$

При  $\delta_{\pi} = 1$  и  $k = n$  шаг минимальный  $\Delta_{\pi} = 0! = 1$ .

При  $\delta_{\pi} = k$  и  $k = n$  шаг максимальный  $\Delta_{\pi} = (k - 1)! \blacksquare$

Разработан частный метод на основе выбора рангов факториальных форм цепей. Данный метод превосходят быстрые эвристики Шермана-Рейтера и Лина по точности решения и может являться компонентом комбинированных способов решения задач рассматриваемого класса. Разработанный метод поиска субоптимальных решений имеет гибкие условия останова перебора: достижение заданного количества/доли проверенных решений, либо времени поиска, либо достижение заданного порога целевой функции, либо по завершению построения окрестности СГО, при этом декомпозиция пространства поиска на непересекающиеся области предполагает эффективную реализацию на параллельных вычислительных системах и языках программирования.

### Список литературы:

1. Гашков С.Б., Чубариков В.Н. Арифметика. Алгоритмы. Сложность вычислений. 2-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2000. — 320 с.
2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
3. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 512 с.



# МЕТОД РЕКУРРЕНТНОГО ПОСТРОЕНИЯ ФАКТОРИАЛЬНЫХ ФОРМ ЦЕПЕЙ В ОКРЕСТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМУМА

*Чистик Игорь Константинович*  
аспирант кафедры ВТ и АСУ, г. Краснодар  
E-mail: [chistik1986@list.ru](mailto:chistik1986@list.ru)

## METHOD OF RECURRENT CREATION OF FACTORIAL FORMS OF CHAINS (FFC) IN A VICINITY OF A STATISTICAL GLOBAL OPTIMUM (SGO)

*Igor Chistik*  
Post-graduate student, chair of CF and ACS,  
Krasnodar

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена актуальным вопросам построения интеллектуальных систем, обеспечивающих эффективное решение прикладных NP-полных задач оптимального потребления ресурсов произвольной природы путём локализации субоптимальных решений в окрестности статистического глобального оптимума (СГО). Рассматривается метод рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО. Аналогов данному методу построения окрестности СГО на основе прогрессии ФФЦ не найдено.

### ABSTRACT

Article is devoted to topical issues of creation of the intellectual systems providing the effective solution of applied NP full tasks of optimum consumption of resources of any nature by localization of suboptimum decisions in a vicinity of a statistical global optimum (SGO). The method of recurrent creation of FFC in SGO vicinity is considered. Analogs this method of creation of a vicinity of SGO on the basis of a progression of FFC it is not found.

**Ключевые слова:** окрестность; эвристика; гармоника; функция.  
**Keywords:** vicinity; heuristics; harmonica; function.

### 1. Метод рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО. Основные параметры и характеристики метода

Метод рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО заключается в формировании СГО в виде объединения  $N$  гармоник  $\bigcup_{i=1}^N \Pi_{n,k}^*(m_i, \tau_i, d_i)$ , каждая из которых определяется тройкой параметров  $m_i, \tau_i, d_i$ . Наименьшая вероятность цепи в гармонике с наименьшим номером и нулевым смещением определяет ширину окрестности  $\varepsilon$ . Остальные гармоники определяют изменяемый параметр ширины  $\xi$ . Величина  $N$  задаётся экспериментально, исходя из требуемой точности,  $1 \leq N \leq k$ . Выбор значений троек элементов указанной окрестности СГО предлагается делать исходя из свойств локализации субоптимальных решений. Эвристика выбора представляется в следующем виде:

$$m_1 = 1, \tau_1 = 0, d_1 = N, \\ m_{i+1} = m_i, \tau_{i+1} = \Delta_{i+1}, d_{i+1} = d_i - 1.$$

Здесь первая гармоника с нулевым смещением определяет ширину окрестности  $\varepsilon$ , первые гармоники со смещениями  $\tau > 0$  влияют на величину  $\xi$ . На рисунке 1 и в таблице 1 приведены окрестность СГО для  $N = 3$  при поиске субоптимальных цепей  $\pi(5,6)$ , а также параметры гармоник.

Так как рассмотренный метод при переборе решений использует только эвристическую рекуррентную функцию,

$$\Pi_{n,k}^*(m, \tau, d) = \{f_\tau^{(k)}, f_i^{(k)} \mid f_i^{(k)} = f_\tau^{(k)} + i \cdot \Delta_m, i \in Z^+, i \leq d\}, \quad (1)$$

где:  $\Pi_{n,k}^*(m, \tau, d)$  — окрестность СГО,

$\Delta m$  — шаг арифметической прогрессии,

$d$  — объём поиска,

$f$  — ФФЦ,

возвращающую преимущественно субоптимальные ФФЦ, и не использует какую бы то ни было функцию оценки, то данный метод следует отнести к эвристическим псевдослучайным методам.

**Таблица 1**

**Гармоники  $\Pi_{5,6}^*(m_i, \tau_i, d_i)$  и их параметры**

$i$	$m_i$	$\Delta_i$	$\tau_i$	$d_i$	$\Pi_{5,6}^*(m_i, \tau_i, d_i)$
1	1	6	0	3	{0, 6, 12}
2	1	6	2	2	{2, 8}
3	1	6	1	1	{1}

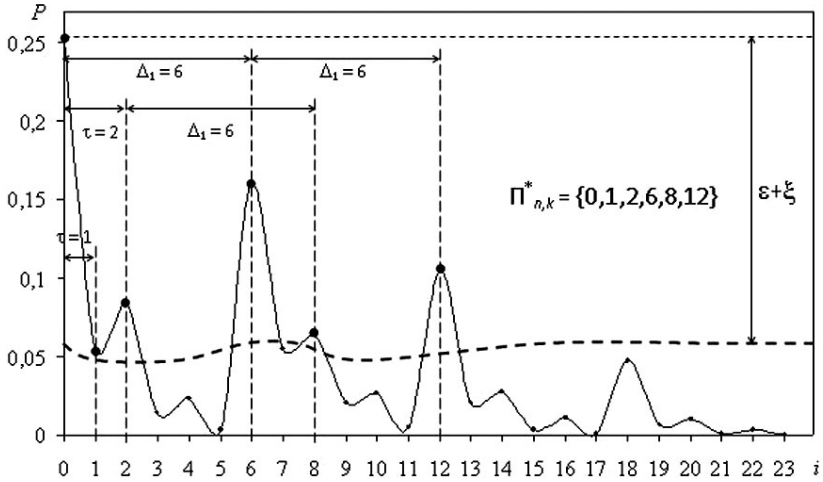


Рисунок 1 — окрестность СГО

$$\bigcup_{i=1}^3 \Pi_{n,k}^*(m_i, \tau_i, d_i) = \{\Pi_{n,k}^*(1,0,3), \Pi_{n,k}^*(1,2,2), \Pi_{n,k}^*(1,1,1)\}$$

## 2. Достоинства и недостатки метода рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО

Достоинства метода:

1) Порядок построения цепей по увеличению ФФЦ характеризуется минимальными вычислительными затратами по сравнению с любым другим методом построения равноудалённых на дереве поиска цепей.

2) Возможность произвольного останова поиска либо по времени, либо по достижению заданного значения функции веса, либо по количеству просмотренных вариантов решений.

Недостатки:

1) Отсутствие управления при выборе локального решения, что характерно для методов случайного поиска.

2) Точность решения зависит от заданного объёма поиска и времени поиска.

Окрестность СГО является гибкой  $(\epsilon + \xi)$ -окрестностью, в которой величина  $\xi$  зависит от правильного выбора вида рекуррентной эвристической формулы. Задание эвристической формулы (1) с параметрами  $i$ -х гармоник  $i > 1$ , не достаточно точно отражающими локализацию субоптимальных решений в пространстве поиска, ведёт к увели-

чению изменяемого параметра  $\xi$  ширины окрестности  $\varepsilon + \xi$ . При этом данное увеличение является величиной малого порядка, так как  $\frac{\varepsilon}{\xi} \gg 1$ .

Следует заметить, что аналогов данному методу построения окрестности СГО на основе прогрессии ФФЦ не найдено. Поэтому для оценки эффективности предложенного метода рекуррентного построения ФФЦ выбраны эвристические методы Шермана-Рейтера и Лина, специально разработанные для минимизации веса цепей  $\pi(n, n + 1)$ . Метод Шермана-Рейтера просматривает  $n+1$  вариантов решений путём 2-замен в начальном решении, роль которого, как правило, играет СГО; метод Лина просматривает  $3 \cdot n+1$  вариантов решений путём 3-замен в начальном решении. Для уравнивания указанных объёмов поиска с методом рекуррентного построения ФФЦ, задающего объём поиска параметром  $N$ , величина данного параметра вычислялась исходя из соотношения суммы арифметической прогрессии и величин  $n+1$  и  $3 \cdot n+1$ . Таким образом, для известного объёма  $a = n+1$  и  $a = 3 \cdot n+1$  параметр  $N$  вычислялся по формуле 
$$N = \left\lceil \frac{\sqrt{1 + 8 \cdot a} - 1}{2} \right\rceil$$
.

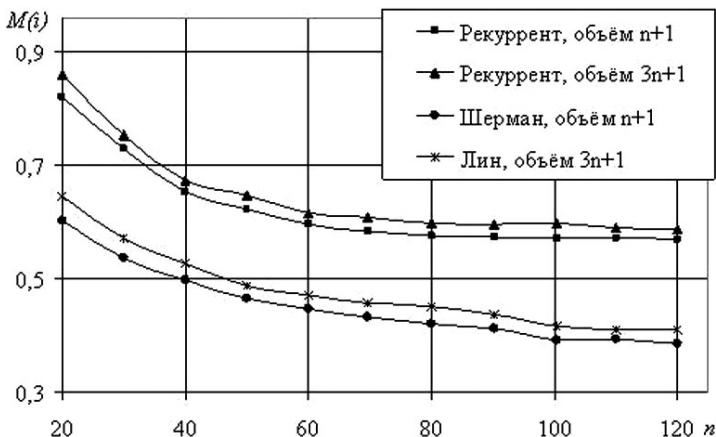
Результаты работы алгоритмов сравнивались по среднему за  $C = 10000$  испытаний отношению теоретической оценки веса  $h_{\text{inf}}$  наилегчайшей цепи для каждого графа к весу  $h_{\text{min}}$  цепи, определяемому конкретным алгоритмом: 
$$M(i) = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{h_{\text{inf},i}}{h_{\text{min},i}}.$$

Теоретическая нижняя оценка веса  $h_{\text{inf}}$  определялась как половинная сумма весов двух наилегчайших рёбер, то есть рёбер с рангами  $r = 0, 1$ , инцидентных каждой вершине  $v_i$  исходного графа:

$$h_{\text{inf}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{r=0}^1 w_r(e_i),$$

где:  $w_r(e_i)$  — вес ребра ранга  $r$  инцидентного вершине  $v_i$ .

Веса рёбер графа генерировались для каждого опыта случайным образом из интервала  $[0, 1]$ . На рисунке 2 приведены результаты сравнения эффективности методов рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО и эвристических методов Шермана-Рейтера и Лина при поиске цепей  $\pi(n, n + 1)$  минимального веса.



**Рисунок 2** — Экспериментальное сравнение эффективности метода рекуррентного построения ФФЦ в окрестности СГО и эвристических методов Шермана-Рейтера и Лина при поиске цепей  $\pi(n, n + 1)$  минимального веса

Метод рекуррентного построения ФФЦ при используемой эвристике (1) решает указанную задачу эффективно, но при условии роста  $n$  эффективность резко падает. Однако разработанный метод примерно в 1,5 раза эффективнее методов, специально разработанных для решаемой задачи. В связи с этим эвристика (1) требует улучшения для задач большой размерности.

### Список литературы:

1. Гашков С.Б., Чубариков В.Н. Арифметика. Алгоритмы. Сложность вычислений. 2-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2000. — 320 с.
2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
3. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 512 с.
4. Макконелл Дж. Основы современных алгоритмов. 2-е дополненное издание: Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.

## СЕКЦИЯ 3.

### ЭЛЕКТРОНИКА

#### ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Пахоменков Юрий Михайлович*

*канд. техн. наук, начальник лаборатории НПО «Аврора»,  
г. Санкт-Петербург*

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

#### WIDE RANGE GENERATOR OF PERMANENT CURRENT

*Yuriy Pahomenkov*

*Candidate of Sciences, chief of scientific development and production  
center laboratory 'Aurora', St. Petersburg*

#### АННОТАЦИЯ

Предложено структурно-алгоритмическое решение генератора постоянного тока с расширенным диапазоном выходного сигнала. Получены основные расчетные соотношения. Описаны результаты исследования макетного образца.

#### ABSTRACT

Proposed structural and algorithmic solution of the generator is continuous with an extended range of the output signal. The basic design relations. The results of the study model sample.

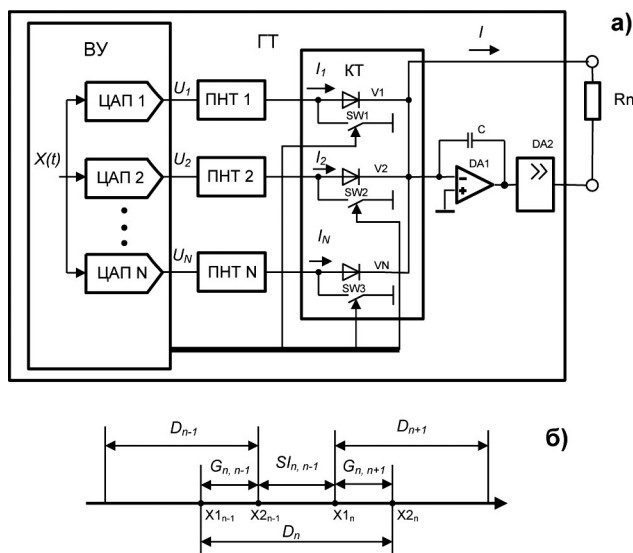
**Ключевые слова:** контроль; диагностика; генераторы токовых сигналов; синтез; дифференцирование.

**Keywords:** control; diagnostics; generator current signals; fusion; differentiation.

Внедрение широкодиапазонных преобразователей сигналов ионизационных камер [4, 5] требует применения для имитации их входных сигналов генераторов тока (ГТ) с расширенным динамическим диапазоном, позволяющих повысить достоверность контроля и

диагностики оборудования, что является актуальной научно-технической задачей. Современные операционные и измерительные усилители практически не обеспечивают непрерывного (без переключения диапазонов) формирования выходного тока ГТ в диапазоне более двух декад, поскольку относительная погрешность формирования малых токов может достигать 100 % и более. Общепринятым способом расширения диапазона выходного тока ГТ является его реализация на основе преобразователя напряжение-ток (ПНТ) со скачкообразно изменяемым коэффициентом преобразования [2, с. 121]. Однако, в случае проверки оборудования, содержащего дифференцирующие звенья, с помощью такого ГТ, вероятно формирование проверяемой аппаратурой ложных сигналов, при разрывах тока в моменты переключений.

Альтернативные способы расширения диапазона формируемого тока заключаются в реализации экспоненциальных ПНТ [1] и многоканальных ГТу. В состав многоканального ГТ (рис. 1 а) входят: вычислительное устройство ВУ, цифроаналоговые преобразователи ЦАП 1... ЦАП N, преобразователи напряжение-ток ПНТ 1...ПНТ N, а также сумматор токов, выполненный на операционном усилителе DA1 с коммутатором токов (КТ) и усилителем выходного тока (DA2).



**Рис.1. Широкодиапазонный ГТ (а) и фрагмент диаграммы диапазонов входящих в его состав ПНТ (б).**

Цифровое представление позволяет формировать в ВУ непрерывный кодовый эквивалент заданного тока  $x(t)$  в широком диапазоне. Однако диапазоны выходных токов ПНТ ограничены и описываются формулами

$$\begin{cases} I_n = \text{if}(x \leq X_{m_n}, \Delta I_n + A_n \cdot (1 + \delta I_n) \cdot x, I_{m_n}); \\ I_{m_n} = \Delta I_n + A_n \cdot (1 + \delta I_n) \cdot X_{m_n}; \end{cases} \quad (1)$$

где:  $n = 1, 2, \dots, N$  — номер ПНТ;

$I_{m_n}, X_{m_n}$  — максимальные значения выходного тока ПНТ с номером  $n$  и кодового эквивалента этого тока;

$A_n, \Delta I_n, \delta I_n$  — коэффициент передачи, аддитивная и мультипликативная погрешности ПНТ с номером  $n$ .

В соответствии с диаграммой на рис.1 б), диапазоны токов ПНТ с соседними номерами  $D_{n-1}, D_n$  и  $D_n, D_{n+1}$  пересекаются. При этом диапазон выходного тока ГТ представляет собой объединение внутренних и смежных сегментов определяемых выражениями

$$\begin{cases} G_{n, n-1} = D_n \cap D_{n-1}; \\ SI_n = D_n \setminus (G_{n, n-1} \cup G_{n, n+1}); \end{cases}$$

где  $n = 1, 2, \dots, N$  — номер ПНТ;

$SI_n$  и  $G_{n, n-1}$  — внутренние и смежные сегменты диапазона значений выходного тока ГТ.

При кодовом эквиваленте выходного тока, соответствующем внутреннему сегменту с номером  $n$  разомкнут только ключ SW с номером  $n$ , а выходной ток генератора составляет  $I = I_n$ .

Непрерывность суммарного тока в точках сегмента  $I \in G_{n, n+1}$  обеспечивают взвешенным суммированием токов смежных ПНТ с номерами  $n$  и  $(n+1)$ , при подаче на их входы напряжений

$$\begin{cases} U_n = k_n \cdot x(t) \cdot w; \\ U_{n+1} = k_{n+1} \cdot x(t) \cdot (1 - w); \end{cases}$$

где:  $k$  — коэффициенты ЦАП с номерами  $n$  и  $n+1$ ;

$w(x)$  — весовая функция, изменяющаяся от единичного к нулевому значению в пределах переходной области смежного сегмента  $[X1_n X2_n]$ .

При этом суммарный ток составляет



$$I_s = I_n \cdot w + I_{n+1} \cdot (1 - w) \quad (2).$$

Дифференцируя выражение (2) с учетом зависимости (1) как сложную функцию времени  $t$  получим

$$\begin{cases} \frac{dI_s}{dt} = \frac{dI_s}{dx} \cdot \frac{dx(t)}{dt}; \\ \frac{dI_s}{dx} = \frac{dI_n}{dx} \cdot w + \frac{dI_{n+1}}{dx} \cdot (1 - w) + (I_n - I_{n+1}) \cdot \frac{dw}{dx}. \end{cases}$$

Полагая зависимость  $x(t)$  непрерывно-дифференцируемой, сформулируем применительно к весовой функции следующие условия непрерывной дифференцируемости формируемого тока по времени.

$$\begin{cases} w(x)|_{x=X1} = 1; & w(x)|_{x=X2} = 0; \\ \left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=X1} = \left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=X2} = 0; \end{cases} \quad (3).$$

Принимая во внимание положительные качества косинусоидальной аппроксимации [3], рассмотрим тригонометрическую весовую функцию

$$\begin{cases} w(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x \leq X1) \\ 0, & \text{if } (x \geq X2) \end{cases}; \\ wp(x) = 0.5 \cdot \left( 1 + \cos\left(\frac{x - X1}{X2 - X1} \cdot \pi\right) \right); \end{cases} \quad (4).$$

где:  $X1, X2$  — левая и правая границы переходной области смежного сегмента соответственно.

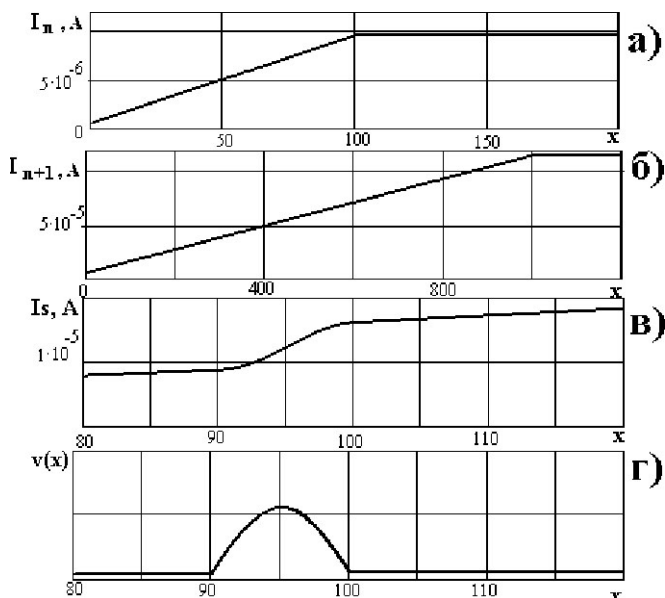
Очевидно, что функция (4) удовлетворяет условиям (3). Проиллюстрируем свойства этой функции на следующем примере. Пусть смежные ПНТ описываются формулами (1) с параметрами, указанными в таблице 1.

**Таблица 1**

**Характеристики смежных ПНТ**

Параметр	Значения параметра	
	для ПНТ с номером n	для ПНТ с номером n+1
A	$10^{-7}$ А/В	$10^{-7}$ А/В
$X_m$	100	1000
$I_m$	$10^{-5}$ А	$10^{-4}$ А
$\Delta I$	$5 \cdot 10^{-7}$ А	$5 \cdot 10^{-6}$ А
$\delta I_n$	-10%	10%

Как видно из графиков функций преобразования смежных ПНТ показанных на рис. 2 а) и б) соответственно, диапазон ПНТ с меньшим номером целиком лежит внутри диапазона ПНТ с большим номером. Выберем значения границ переходной области  $X1 = 90$ ,  $X2 = 100$ . График суммарного тока  $I_s$ , соответствующий выражению (8), построенный на рис. 2 в), иллюстрирует плавный (без скачков) характер изменения тока в переходной области.



**Рис.2. Графики функций преобразования смежных ПНТ (а, б) суммарного тока (в) и его производной (г) в зависимости от кодового эквивалента тока.**

На рис. 2 г) построен график производной суммарного тока  $v(x) = dI_s / dx$ , демонстрирующей непрерывную дифференцируемость функции (2).

Необходимым условием полномасштабной реализации преимуществ многоканальных ГПТ является применение прецизионных элементов. В частности, электрометрических операционных усилителей с минимальными по абсолютной величине значениями входного тока и напряжения смещения нуля. Поскольку при этом существенным требованием является минимизация токов утечки выключенных каналов КТ, весьма удобным оказывается диодно-релейный КТ на основе

электрометрических диодов, таких, как прибор BAV45 фирмы Phillips semiconductor. При замкнутом состоянии контакта реле в запертом канале КТ напряжение на диоде составляет доли милливольт, а его сопротивление достигает нескольких ГОм. Разработана формализованная методика синтеза ПНТ средствами программы Mathcad. С целью проверки основных технических решений, методики синтеза и алгоритма функционирования ГТ был изготовлен его макет. Экспериментальное исследование макета показало, что погрешность его выходного сигнала по абсолютной величине не превышает значений, указанных в таблице 2.

**Таблица 2**

**Фактические значения погрешностей формируемого тока**

Выходной ток, А		Погрешность, %, не более	
От	До	при $t_{oc} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	при $t_{oc} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-7}$	4	5
$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	1	2
$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	1	2
$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,5
$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,2

Таким образом, описанное выше структурное решение широкодиапазонного генератора тока (рис. 2 а), в сочетании с разработанной методикой, при надлежащем выборе элементной базы, конструкторских решений и весовой функции (4) обеспечивает формирование непрерывно-дифференцируемого сигнала в диапазоне шести декад.

**Список литературы:**

1. Беляков В.В. Разработка генератора моделирующих пикоамперных импульсов тока для исследования зарядочувствительных усилителей// Научная сессия МИФИ-2006, том 1, С. 90—91.
2. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: «Додэка XXI», 2005.
3. Григоренко А.М. Некоторые вопросы теории технической информации. — М.: «ЮБЕКС», 1998.
4. Никулин Э.С., Пахоменков Ю.М. Об одном методе компенсации температурного дрейфа линейных многодиапазонных электрометрических преобразователей тока // Системы управления и обработки информации. Научн.-техн. сб. / «НПО «Аврора», СПб. — 2002. — Вып. 4. — С. 111—120.
5. Пахоменков Ю.М. О построении электрометрических преобразователей тока // Системы управления и обработки информации: Научн.-техн. сб. / «НПО «Аврора», СПб., 2010. Вып. 20, С. 171—178.

## СЕКЦИЯ 4.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

*Терехова Ольга Александровна*  
аспирант, МГОУ, г. Рязань

*Марголит Ремир Борисович*  
канд. техн. наук, профессор РИ(ф)МГОУ, г. Рязань  
E-mail: [r.margolit@yandex.ru](mailto:r.margolit@yandex.ru)

#### IMPROVEMENT OF EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF METAL-CUTTING MACHINE TOOLS AT REGULATED MAIN MOTION DRIVES APPLICATION

*Olga Aleksandrovna Terekhova*  
postgraduate of Moscow State Open University, Ryazan

*Remir Borisovich Margolit*  
Ph.D., professor of Ryazan Institute (Branch)  
of Moscow State Open University, Ryazan

#### АННОТАЦИЯ

Изучена возможность улучшения при переходе к регулируемым приводам главного движения, возможность улучшения таких эксплуатационных характеристик станков, как производительность, качество обработки, материалоемкость, энергопотребление, шум. Показаны пути оптимизации силовых характеристик приводов. Приведены примеры внедрения результатов работы.

## ABSTRACT

The possibility of improvement of such exploitation characteristics as productivity, processing quality, material capacity, energy consumption, noise level is studied at transition to regulated main motion drives. The ways of drives power characteristics optimization are shown. The examples of implementation of research results are given.

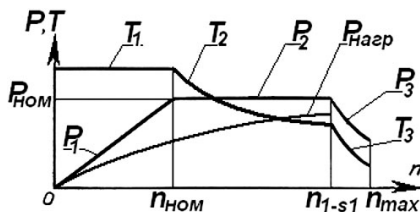
Ключевые слова: **станок; оптимизация.**

Keywords: **machine tool; optimization.**

В последнее время в приводах главного движение металлорежущих станков все более широкое использование находят регулируемые приводы, основанные на использовании применении асинхронных электродвигателей с частотным регулированием. Эти двигатели сохранили все положительные стороны не регулируемых асинхронных, а системы управления ими, благодаря прогрессу современной электроники, стали малогабаритными и экономичными.

Переход к регулируемым приводам создал предпосылки улучшить такие выходные характеристики машин, как производительность, качество выпускаемой продукции, сократить энергопотребление, материалоемкость, трудозатраты изготовления, снизить уровень шума. Ошибку допускают те изготовители станков, которые довольствуются совершенствованием главного привода, упуская возможность улучшить показатели станков в целом.

Объектом исследования явились главные приводы широко распространенных в машиностроении токарных станков средних типоразмеров с максимальными диаметрами обработки 400—1250 мм, выполняющие разнообразные работы на разных скоростях с различными потребностями мощности и вращающих моментов. Большие диаметры обработки требуют больших вращающих моментов на шпинделе. В этом состоит отличие токарных станков от станков сверлильно-фрезерно-расточной группы, на которых не обязательно можно не использовать режущие инструменты чрезмерно больших диаметров.



*Рис. 1. Силовая характеристика двигателя с частотным регулированием*

Силовая характеристика асинхронного двигателя с частотным регулированием (АДЧР) показана на рисунке 1. Она коренным образом отличается от характеристики нерегулируемого асинхронного двигателя (АД), который в рабочем режиме имеет примерно постоянные мощность и вращающий момент.

Предельные значения мощности  $P$  и момента  $T$  в зависимости от частоты вращения  $n$  двигателя имеют три отличающихся друг от друга участка. На первом участке от нуля до номинальной частоты  $n_{ном}$  мощность  $P_1$  возрастает от нуля до своего номинального значения  $P_{ном\ д\ в} = P_2$ , которое является также максимальным. Вращающий момент  $T_1$  на этом участке имеет постоянную величину. На втором участке от  $n_{ном}$  до  $n_{1-s1}$  мощность  $P_2$  остается постоянной, а момент  $T_2$  падает. На третьем участке от  $n_{1-s1}$  до  $n_{max}$  величины мощности  $P_3$ , и момента  $T_3$  уменьшаются.

В технической литературе имеется ряд публикаций, в которых снижение мощности на малых частотах вращения объявляется недостатком АДЧР, поскольку оно не позволяет получить на рабочем органе при малых частотах вращения большие величины вращающих моментов. Такое суждение вряд ли может быть признано справедливым, **поскольку** в приводах от нерегулируемого АД с многоступенчатой коробкой передач большие моменты на малых скоростях возникают всегда, но необходимость в них отсутствует. Стремление получить на шпинделе завышенные вращающие моменты, **по-нашему мнению**, следует признать ошибочным.

С другой стороны, широкий диапазон вращения АДЧР от 0 до  $n_{макс.д\ в}$  создает иллюзию легкости построения регулируемых приводов токарных станков. Если не учитывать силовую характеристику, то можно получить привод, не отвечающий требуемой производительности обработки.

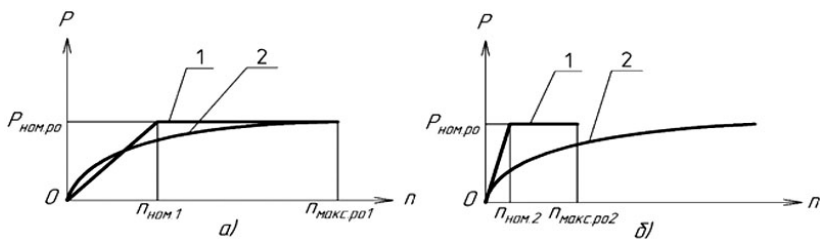
Для большинства машин рабочий орган получает вращение от регулируемого двигателя через редукторную часть привода с передаточным отношением  $i$ .

$$P_{ро} = \eta P_{д\ в}; n_{ном\ ро} = n_{ном\ д\ в} / i; n_{макс.ро} = n_{макс.д\ в} / i,$$

где:  $n_{ном.д\ в}$ ,  $n_{ном\ ро}$ ,  $n_{макс.д\ в}$ ,  $n_{макс.ро}$  — соответственно номинальные и максимальные частоты вращения двигателя и шпинделя,

$\eta$  — КПД привода.

В токарных станках с увеличением скорости резания и пропорциональной ей частоты вращения  $n$  нагрузка 2 (рис. 2), выраженная мощностью резания  $P_{рез}$ , возрастает по параболическому закону (**нет точки**)



**Рис. 2. Силовая характеристика привода 1 и нагрузка на рабочий орган 2:**  
**а) — при малой редукции, б) — при большой редукции**

Резание возможно, когда выполняется условие  $P_{ном.ро} = \eta P_{дв} \geq P_{рез}$ , кривая нагрузки 2 располагается ниже линии 1. Достичь это можно двумя совершенно различными способами. Если мощность резания оказывается больше мощности привода на его горизонтальном участке, то необходимо увеличивать мощность привода. Если превышение происходит на наклонном участке, как это показано на рисунке 2,а), то возможно принципиально иное решение — увеличить редукцию привода, чтобы кривая 2 нагрузки оказалась ниже линии мощности 1 на всем протяжении работы (рис.2,б).

Введем понятие предельной глубины  $t_{np}$  — максимально возможной глубины резания, определяемой силовой характеристикой привода:

$$t_{np} = \frac{\eta P_{дв}}{k_1 k_2 v^m s_o^y} = \frac{1000^m}{(\pi D n)^m} \frac{\eta P_{дв}}{k_1 k_2 s_o^y} \quad (1)$$

В таблице 1 приведены примеры расчетов по формуле (1) предельных глубин резания при наружном точении на станках с асинхронными нерегулируемыми двигателями заготовки из конструкционной легированной стали марки 40Х с твердостью материала НВ180.

**Таблица 1**

**Предельная глубина резания при наружном точении**

Мощность $P_{дв}$ , кВт	скорость резания, м/мин															
	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32,5	40	50	63	80	100	125	160	200
	предельная глубина резания, мм при подаче $s_o=1$ мм/об															
32,5	89	73	60	50	40	33	28	22	19	15	13	10	8,5	7,0	5,7	4,7
16	44	36	30	25	20	16	14	11	9,2	7,6	6,1	5,0	4,2	3,4	2,8	2,4
8	22	18	15	12	9,9	8,2	6,8	5,4	4,6	3,8	3,1	2,5	2,1	1,7	1,4	1,2

В приводе от АД при малых скоростях резания возникает потенциальная возможность точить с такими чрезмерно большими глубинами резания, реализовать которые в большинстве случаев нет необходимости и возможности.

Малые частоты вращения шпинделя иметь в станках необходимо, их используют при работе быстрорежущими инструментами; при выверке заготовок; при контроле обработанных поверхностей. Однако при всех перечисленных видах работ отсутствует потребность в больших вращающих моментах на шпинделе. В нерегулируемых приводах под большой, не востребованный момент, во избежание выхода из строя и поломок, приходится изготавливать все элементы главного привода: зубчатые колеса больших модулей, валы и подшипники больших диаметров, ременную передачу соответствующей характеристики. Возникает излишняя материалоемкость привода, снижается КПД, увеличивается энергопотребление.

Предельная глубина резания является весьма подходящим параметром для оценки силовых возможностей главного привода станка и решения задачи оптимизации [1], [6]. В качестве других возможных параметров для компьютерного решения задачи оптимизации были изучены скорость резания, подача и объем снимаемой в единицу времени стружки, но они были признаны *менее удобными*.

В базу данных компьютерной программы расчета главных приводов токарных станков средних типоразмеров **были** внесены технические характеристики более сотни электродвигателей с частотным регулированием комбинированного исполнения (фланцевые и на лапах) с высотой оси 132, 160, 180 мм производства фирм России, Германии, Японии и Китая.

Расчеты, выполненные для большого числа токарных станков средних размеров, подтвердили возможность и целесообразность изготовления их главных приводов в двухдиапазонном исполнении.

Каждому из нижнего и верхнего диапазонов следует придать свою величину передаточного отношения, соответственно,  $i_n$  и  $i_в$ . Изучено условие не допущения «провалов» мощности в силовой характеристике привода:

$$n_{1-11}/n_{ном.дв} \geq i_n/i_в \geq K \quad (2)$$

Из технологических соображений можно рекомендовать принять число  $K=4$ . Именно такое передаточное отношение целесообразно иметь в зубчатом зацеплении двухскоростной коробки передач во избежание технологических трудностей, возникающих при использовании колес с малыми числами зубьев. Из формулы (2) также следует требование к двигателям иметь достаточно большой диапазон частот сохранения



постоянной мощности,  $n_{1-с1}/n_{ном.дв} \geq 4$ . На 4 конструкции двухдиапазонных главных приводов станков с числом  $K=4$  получены патенты на полезные модели [2], [3], [4], [5].

Главные приводы токарных станков средних типоразмеров различаются величиной редукиции, местом размещения редуктора в кинематической цепи и конструктивным исполнением (рис.3) [7].

Все пять структурных вариантов *нашли использование использовались* в следующих станках с ЧПУ Рязанского станкозавода: 1) мод. HR630; 2) мод. 16P25Ф3, 16M30Ф3, 1Н65Ф3, 16P50Ф3, РТ317Ф3, РТ717Ф3; 3) мод. РТ777, 1727Ф6, 1728Ф6; 4) мод. 17С40; 5) мод. 16P35Ф3.



**Рис. 3. Варианты структурных схем приводов главного движения**

По данным таблицы 2 можно сравнить показатели станков разных структурных вариантов полученные при испытаниях.

**Таблица 2**

**Эксплуатационные и технические показатели станков**

Модель станка	HR630	1M63H	16M30Ф3	1728Ф6	17C40	16P30Ф3
№ структурной схемы	1	2	2	3	4	5
Макс. D обработки, мм	630	630	630	500	630	630
Мощность двигателя, кВт	41	15	26	28	22	26
Расстояние между опорами, мм	400	1100	1100	400	510	720
Макс. частота вращения, об/мин	2500	1600	1600	2500	3000	2500
КПД при максимальной частоте	0,88	0,71	0,81	0,88	0,845	0,86
КПД при 1600 об/мин	0,94	0,71	0,81	0,96	0,93	0,92
Время разгона, с	3,0	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
Виброустойчивость, мм	5,1	3,2	3,2	4,8	6,0	5,1
Шум при макс. частоте, дБ	76,0	80,0	78,0	77,0	77,0	78,0

Оптимизация силовых характеристик привода оказывает благоприятное воздействие на материалоемкость машины. В двухскоростных коробках передач используется малое число зубчатых колес, уменьшаются их модули и диаметры валов. Возникает возможность сократить длину корпусов шпиндельных узлов, имеющих малое наполнение зубчатыми колесами. Изучение конкретных конструкций показывает, что в станках при использовании этой возможности за счет уменьшения длины как корпусов, так и станин достигается экономия материалов до 20 %.

Именно при сокращении расстояния между опорами повышается жесткость шпиндельного узла и виброустойчивость станка (возможность резать без вероятности возникновения вибраций), благодаря чему появляется дополнительный ресурс повышения производительности при черновой и улучшения качества поверхности при чистовой обработке.

Выявлены следующие источники экономии электроэнергии:

- возможность оптимизации скоростей резания при обработке;
- повышение КПД привода, в связи с уменьшением числа одновременно работающих зубчатых передач;
- сокращение расхода энергии на участке работы двигателя с постоянным моментом;
- использование двигателей меньшей мощности;
- работа в режимах кратковременной перегрузки электродвигателя.

Практика эксплуатации станков доказала, что оптимизация приводов главного движения позволяет экономить в год 400 кВтч электроэнергии на каждый киловатт мощности электродвигателя, а в станках с ЧПУ за счет рационализации обработки экономия энергии возрастает еще не менее чем на 25 %.

Шумовая характеристика оптимизированных приводов улучшается в связи с уменьшением числа работающих зубчатых колес. В работе изучено неблагоприятное влияние на шум наличия в редукторе нескольких зубчатых передач, работающих на одинаковых частотах зацепления. Проверка показала, что фактический шум возникает на данной и удвоенной частотах.

### **Выводы**

1. Предложены пути построения регулируемых главных приводов токарных станков средних типоразмеров, учитывающие возможности совершенствования эксплуатационных и технико-экономических показателей станков.

2. Разработана методика расчета и оптимизации силовых характеристик приводов главного движения по параметру производительности обработки.

3. Обоснован выбор структуры, конструкции и параметров двухдиапазонных коробок передач при минимальных уровнях материалоемкости и энергопотребления.

4. Выявлена возможность снижения уровня шума, производимого приводом.

### **Список литературы:**

1. Марголит Р.Б., Терехова О.А., Колобаев Д.В., Маркин Ю.С. Оптимизация скоростных и силовых характеристик приводов главного движения токарных станков // СТИН. 2006. № 2. С 5— 11.
2. Марголит Р.Б., Терехова О.А., Кузнецов Е.А., Маркин О.Ю., Маркин Ю.С., Пищулин А.Е.. Привод металлорежущего станка. Патент на полезную модель 45663 U1 27.05.2005 // Бюлл. изобр. 2005. № 15
3. Марголит Р. Б., Терехова О. А., Кузнецов Е. А., Пищулин А. Е, Маркин О. Ю.. Маркин Ю. С. Главный привод металлорежущего станка. Патент на полезную модель 45664 U1 27.05.2005 // Бюлл. изобр. 2005. № 15
4. Марголит Р.Б., Терехова О.А., Кузнецов Е.А., Маркин О.Ю., Маркин Ю.С., Пищулин А.Е. Мотор редуктор двухскоростной Патент на полезную модель № 46062 U1 10.06.2005 // Бюлл. изобр. 2005. № 16.
5. Марголит Р.Б., Терехова О.А., Маркин О.Ю., Маркин Ю.С. Мотор-редуктор двухскоростной планетарный. Патент на полезную модель № 46063 U1 10.06.2005 // Бюлл. изобр. 2005. № 16.
6. Терехова О.А., Липатов С.И., Марголит Р.Б. Оптимизация силовых характеристик регулируемых главных приводов токарных станков // Технология машиностроения — № 5, 2008. С. 14—17.
7. Терехова О.А., Марголит Р.Б. Структурный синтез и оптимизация приводов главного движения токарных станков // Международная научная заочная конференция «Актуальные вопросы современной техники и технологии», Липецк, 2010. С. 154—157.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА  
ЦЕПНОГО ПРИВОДА ШТАНГОВОГО НАСОСА  
ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ**

***Ногаев Нурлан Аскарлович***

*аким Западно-Казахстанской области, г. Уральск*

*E-mail: [Axmetov\\_aing@mail.ru](mailto:Axmetov_aing@mail.ru)*

***Баесов Алибек Каурлиевич***

*генеральный директор, АО «Уральск-Нефтегазгеология», г. Уральск*

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

***Дружинин Вячеслав Михайлович***

*генеральный директор, ТОО «ЖайкМунай», г. Уральск*

*E-mail: [Axmetov\\_aing@mail.ru](mailto:Axmetov_aing@mail.ru)*

***Ахметов Сайранбек Махсутович***

*ректор Казахстанского университета инновационных и*

*Телекоммуникационных, г. Уральск*

*E-mail: [Axmetov\\_aing@mail.ru](mailto:Axmetov_aing@mail.ru)*

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE MECHANISM  
OF A CHAIN DRIVE OF THE SHTANGOVY PUMP  
FOR OIL PRODUCTION**

***Nurlan Nogayev***

*Governor of the West Kazakhstan area, Uralsk*

***Alibek Baesov***

*The general director of Joint-stock company "Uralsk- Oil, gas and  
geology », Uralsk*

***Vyacheslav Druginin***

*The general director of the enterprise «JaiykMunai», Uralsk*

***Sayranbek Akhmetov***

*Rector of the Kazakhstan university of innovative and  
telecommunication systems, Uralsk*

## АННОТАЦИЯ

В целях оптимизации параметров цепного привода штангового насоса реализован многофакторный эксперимент. В результате получены оптимальные значения основных параметров установки, позволяющие подобрать эффективные размеры и характеристики цепного привода.

## ABSTRACT

With a view of optimization of parameters of a chain drive of the shtangovy pump multiple-factor experiment is realized. Optimum values of the main parameters of the unit, allowing to pick up the effective sizes and characteristics of a chain drive are as a result received.

**Ключевые слова:** насосная установка; добыча нефти; механизм цепного привода; параметры; оптимизация.

**Keywords:** pump installation; oil production; mechanism of a chain drive; parameters; optimization.

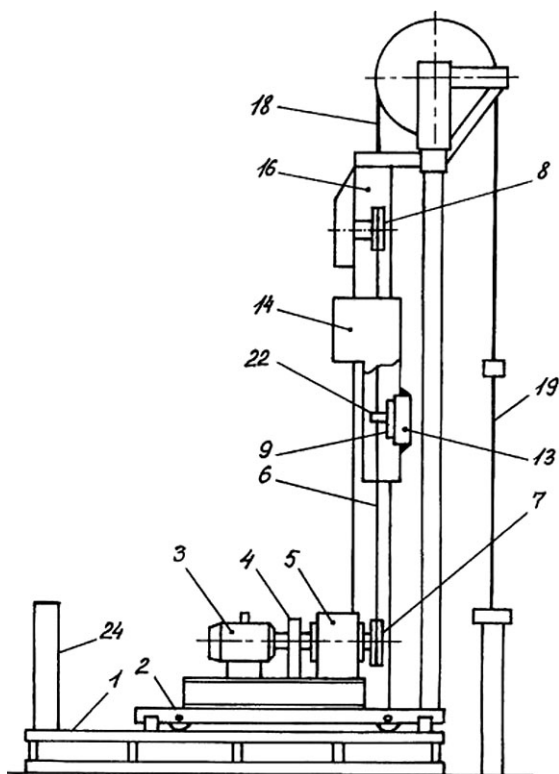
На месторождениях высоковязкой нефти с осложненными условиями эксплуатации (обводненность, наличие механических примесей и т. д.) для добычи скважинной продукции в последние годы хорошо зарекомендовали себя штанговые насосные установки (ШСНУ) с наземными цепными приводами (ЦП) [6]. ЦП отличаются меньшим габаритом в отличие от традиционных балансирных станков-качалок (СК). Это делает ее более эффективным при обеспечении работы одной и той же установки ШСНУ с учетом того, что, в СК процесс уравнивания осуществляется за счет применения специальных тяжелых грузов. Поэтому ЦП менее металлоемкие.

Нами были анализированы конструкции и принципы работы ЦП с вертикальным расположением редуцирующего преобразующего механизма (РПМ), которые нашли наибольшее применение в промыслах России и частично начали внедряться в месторождениях Казахстана.

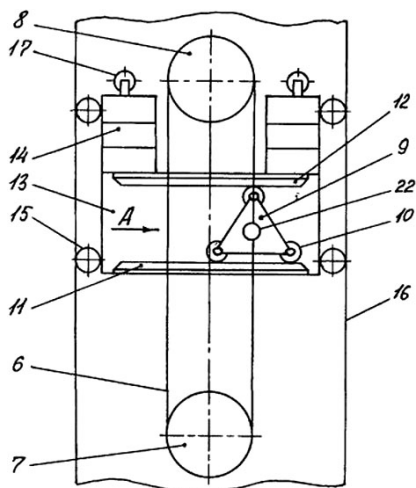
Недостатком данных устройств является износ роликов каретки. Это обусловлено тем, что, движение каретки в горизонтальной плоскости приведет к восприятию сил тяжести колонны штанг и поднимаемой скважинной продукции роликами и горизонтальными направляющими что вызывает их интенсивный износ.

На основании существующих аналогов, описания которых изложены в работах [4, 5], нами было предложено новое техническое решение, позволяющее снизить износ рабочих элементов каретки РПМ и повысить их ремонтпригодность [2]. Предложенное устройство цепного привода скважинного штангового насоса (см. рис. 1, 2 и 3)

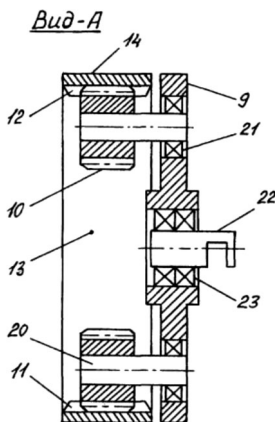
содержит несущую раму 1, откатную L-образную сварную металлоконструкцию 2, двигатель 3, клиноременную передачу 4, редуктор 5, РПМ, включающий цепную передачу с цепью 6 повышенной нагрузочной способностью, ведущей 7 и ведомой 8 звездочками, каретку 9, выполненную в виде треугольного контура, имеющего на вершинах шарнирно установленные зубчатые ролики 10, горизонтальные направляющие, выполненные в виде съемных зубчатых реек 11 и 12, образующих с роликами 10 зубчатое зацепление. Рейки 11 и 12 соответственно расположены в нижней и верхней частях полости 13 противовеса 14 с обычными цилиндрическими роликами 15.



**Рис. 1. Общая конструктивно-кинематическая схема устройства цепного привода скважинного штангового насоса**



**Рис.2. Схема расположения треугольной каретки в противовесе РПМ привода**



**Рис. 3. Взаимодействие зубчатых роликов с рейками горизонтальных направляющих каретки: (разрез вид — А на рис. 2)**

Противовес перемещается по вертикальным направляющим 16 и связан посредством шкивов 17 с разомкнутым гибким звеном 18 и колонной штанг 19. Зубчатые рейки 11 и 12 горизонтальных направляющих каретки 9 в целях обеспечения возможности их замены при ремонте выполнены съемными. Треугольный контур каретки 9

расположен в полости 13 таким образом, что, две его вершины с соответствующими зубчатыми роликами 10 входят в зацепление с нижней рейкой 11, а третья с верхней рейкой 12, обеспечивающим беспрепятственное синхронное перемещение их по рабочим поверхностям реек. При этом, треугольный контур выполнен с возможностью изменения высоты посредством винтового механизма (на схеме не показан), позволяющего оперативно установить каретки 9 на рейках и регулировать усилия между ними и зубчатыми роликами. Зубчатые ролики 10 посажены на пальцах 20, которые шарнирно установлены посредством подшипников качения 21 на вершинах треугольного контура каретки 9.

В центре каретки 9 установлена скалка 22 при помощи подшипников качения 23, к которой присоединена цепь 6 цепной передачи (на схеме не показана). Устройство цепного привода управляется со станции управления 24.

В предложенном устройстве, за счет выполнения роликов и горизонтальных направляющих зубчатым, радиальная нагрузка (нормальное механическое давление) распределяется на две составляющие, что позволяет снизить износ роликов, исключить их скольжение качения и повысить ремонтпригодность других узлов каретки, и таким образом, увеличить срок службы ее рабочих элементов.

В целях оптимизации параметров предложенной конструкции были проведены экспериментальные исследования с применением методики планирования многофакторного эксперимента [1, 3].

За основу был принят модель следующего вида [1]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_i b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

где:  $b$  — коэффициенты регрессии.

Для реализации модели (1) необходимо выбрать критерии оптимальности и факторы, оказывающие наибольшее влияние на этот критерии. Для ранжирования возможных факторов сначала необходимо их выделить из общего числа множества различных физических параметров.

Критерии оптимизации и факторы должны существенным образом характеризовать эффективность ЦП ШСНУ в соответствии с его назначением.

На этом основании были выделены следующие факторы, характеризующие, на наш взгляд, работу ЦП ШСНУ в эксплуатации нефтяных скважин:



1) Кинематический параметр редуцирующего преобразующего механизма ЦП ШСНУ, характеризующий отношение полного хода точки подвес штанги (ТПШ) к радиусу ведущей (или ведомой) звездочки цепной передачи РПМ

$$k_{РПМ} = S_o / R_3 ; \quad (2)$$

2) Полный ход ТПШ, определяемый при помощи конструктивных размеров цепной передачи РПМ

$$S_o = 2R_3 + L, \quad (3)$$

где  $L$  — межосевое расстояние цепной передачи РПМ;

3) Передаточное отношение РПМ

$$i = \frac{n}{n_1} = 1 + \frac{L}{\pi R} = 0,364 + 0,318k_{РПМ}, \quad (4)$$

где  $n$  и  $n_1$  — соответственно частоты хода ТПШ насоса в единицу времени (частота качаний) и вращения звездочки РПМ, в  $\text{мин}^{-1}$ , которые определяются известными формулами

$$n = \frac{1}{\tau}, \quad (5)$$

$\tau$  — время одного хода цепной передачи РПМ, вычисляемое

$$\tau = \frac{2}{\omega} \left( \pi + \frac{L}{R_3} \right) = \frac{1}{n_1} \left( 1 + \frac{L}{\pi R_3} \right), \quad (6)$$

$\omega$  — угловая скорость звездочки цепной передачи РПМ,  $\text{с}^{-1}$ ;

4) Коэффициент, характеризующий потерю хода плунжера из-за упругих свойств (деформации растяжения) колонны штанг и труб

$$\lambda = S_o - S_{нл}; \quad (7)$$

5) Вес одного метра штанг в скважинной жидкости —  $q_{шт}$ ;

6) Удельный вес откачиваемой скважинной продукции —  $\gamma$ ;

7) Динамическая вязкость откачиваемой скважинной продукции —  $\mu$ ;

8) Коэффициент, характеризующий величину силу трения в доле от веса штанговой колонны в скважинной жидкости —  $b_{тр}$ ;

9) Диаметры плунжера скважинного насоса, штанги и внутренней части НКТ, соответственно  $D_{пл}$ ,  $D_{шт}$  и  $d_{тр}$ ;

10) Коэффициенты, характеризующие соотношения диаметров  $D_{шт}$  и  $d_{тр}$ :

$$m = \frac{d_{мп}}{D_{шт}}; \quad m' = \frac{D_{шт}}{d_{мп}}; \quad (8)$$

11) Максимальная скорость ТПШ насосной установки с цепным приводом

$$v_{\max} = 2nS_o \left( \frac{1,14}{k} + 1 \right); \quad (9)$$

12) Коэффициент подачи ШСНУ

$$k_{II} = \frac{1440F_{nl} n(S_o - \lambda)\eta_{nan} - q_{ym}}{1440F_{nl} nS_o}, \quad (10)$$

где:  $F_{nl}$  — площадь поперечного сечения плунжера,

$q_{ym}$  — утечка между плунжером и цилиндром насоса,

$\eta_{nan}$  — коэффициент наполнения насоса, определяемый из выражения

$$\eta_{nan} = 1 - R_{\Gamma}(m_{ep} + 1), \quad (11)$$

где:  $R_{\Gamma}$  - газосодержание смеси, засасываемые насосом,

$m_{ep}$  - относительная величина вредного пространства насоса

$$m_{ep} = \frac{V_{ep}}{V_S}, \quad (12)$$

где:  $V_{ep}$  и  $V_S$  — соответственно объем вредного пространства насоса и объем, описываемый плунжером за один ход

В выражении (10) в большинстве случаев, за определенный промежуток времени коэффициент наполнения  $\eta_{nan}$  и величина утечки  $q_{yt}$  могут оставаться неизменными, которые, более того, с применением цепного привода соответственно будут расти и уменьшаться. Это дает основание упростить выражение (10) и дает ему более упрощенный и практичный вид

$$k_n = \left( 1 - \frac{\lambda}{S_o} \right) \eta_{nan}; \quad (13)$$

13) Предельная (максимальная) теоретическая производительность ШСНУ с ЦП при откачке высоковязкой нефти

$$Q_{np} = 2558 \frac{(1 - b_{mp})q_{um}}{\mu \left( \frac{1,14}{k} + 1 \right) m'^{5,49}} F_{nl}. \quad (14)$$

Анализируя выделенные 13 параметров, только последний показатель по свое значимости однозначно может охарактеризовать искомый критерий оптимальности. Это обусловлено, тем, что данный показатель по физической сущности характеризует также и эффективность ШСНУ с ЦП в соответствии с его основным назначением.

Более того, как видим, он включает все основные параметры системы добычи нефти, которые приведены в позициях 1)÷12).

Задачу определения значений критерии оптимальности можно представить в виде целевой функции

$$Q_{np} = f(\mu, k_{РПМ}, F_{nl}, m', q_{um}, b_{mp}) \rightarrow \max \quad (15)$$

Из (15) следует, что для достижения максимума в функции отклика нам необходимо реализовать факторный эксперимент с числом факторов  $n_{\phi}=6$ .

Тогда, согласно методике центрального ортогонального композиционного планирования экспериментов, описанной в работе [6] число минимальных опытов (компьютерных вычислений) должно было быть равно

$$N = 2^{n_{\phi}} + 2n_{\phi} + 1 = 77 \quad (16)$$

Однако это усложняло бы регрессионный анализ и делало бы матрицу планирования громоздкой. С другой стороны, с увеличением числа опытов повышается уровень ошибок и просчетов, что в целом сказывается на снижении достоверности и адекватности модели. Как показывает практика, самая оптимальная модель получается при числе факторов, не превышающих 3—4, которая ограничивается 15 или 25 опытами:

$$N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15. \quad (17)$$

Из функции (15) можно исключить три параметра (фактора), которые, могут повторяться или иметь не существенное значение. Например, динамическая вязкость  $\mu$ , хотя и является немаловажным параметром, в некоторых диапазонах мало поддается варьированию, т. к. изменение данного показателя зависит от реолого-химических свойств нефти, которая в пределах одного месторождения или участка можно принять постоянной. Следовательно, данный показатель в качестве варьируемого фактора исключаем, а будем только менять его значения при построениях графических зависимостей после факторного эксперимента.

Параметр  $k_{РПМ}$  характеризует конструкцию устройства, и в этой связи хорошо поддается варьированию. Однако в том соотношений, каким он представлен в (2), особый интерес для оптимизационной задачи не представляет. Однако, если, допустим, это выражение выразим через межосевое расстояние  $L$  цепной передачи РПМ, так как от него зависит высота наземной части привода, а следовательно и масса металлоконструкции, т.е. его металлоемкость, то этот обобщающий фактор был бы более приемлемым для оптимизации.

Поэтому, объединяя выражения (2) и (3) параметр  $k_{РПМ}$  приводим в более практичный вид и примем его в качестве одного из основного фактора варьирования.

Параметры  $q_{ум}$  и  $m'$ , при постоянном значении плотности материала штанги повторяют друг друга, т.е. при определении значения одного из них можно рассчитать величину другого. Между тем, безразмерный параметр  $m'$  имеет преимущество перед показателем  $q_{ум}$ , представленным в физической единице. Это заключается в удобстве варьирования при построении математической модели. В связи с этим в качестве следующего фактора варьирования приняли параметр  $m'$ , характеризующий отношение диаметра штанги к внутреннему диаметру НКТ.

В качестве третьего варьируемого фактора один из двух оставшихся параметров  $F_{nl}$  и  $b_{mp}$ . Коэффициент  $b_{mp}$  (см. позицию 8)), характеризовать критерий оптимизации (производительность) непосредственно, так, как параметр  $F_{nl}$  не может. С другой стороны параметр  $F_{nl}$  (площадь поперечного сечения плунжера) имеет размерность физической величины в отличие от двух уже выбранных факторов. В связи с этим, в целях перевода его на безразмерную величину мы выражаем данный параметр в виде отношения его к площади поперечного сечения штанги, что после необходимых преобразований можно представить как отношение диаметров  $D_{nl}$  и  $D_{ум}$ . В связи с этим третьим варьируемым фактором примем параметр, характеризующий отношение  $D_{nl}$  к  $D_{ум}$ . При этом  $D_{ум}$  являясь составляющим уравнения (8) для определения фактора  $m'$ , после определения оптимального значения позволит вычислять соответствующие им величины внутреннего диаметра НКТ —  $d_{тр}$ .

В таблице 1 представлены уровни и интервалы варьирования выделенных факторов.

Величина  $\beta$  в таблице 1 характеризует сдвиг координаты от центра двумерных сечений предполагаемой математической модели.

Таблица 1.

## Уровни и интервалы варьирования выделенных факторов

Факторы и обозначение их физических величин	Условное обозначение фактора	Уровни варьирования					Интервалы
		-1,215	-1	0	1	1,215	
Параметр $k_{PIIM}$ , характеризующий кинематические свойства редуцирующего преобразующего механизма $(k_{PIIM} = 2 + \frac{L}{R_3})$	$X_1$	3,785	4,0	5,0	6,0	6,215	1,0
Параметр $m'$ , характеризующий отношение диаметра штанги к внутреннему диаметру НКТ $m' = \frac{D_{um}}{d_{mp}}$	$X_2$	0,307	0,35	0,55	0,75	0,793	0,20
Параметр $\xi$ , характеризующий отношение диаметра плунжера к диаметру штанги $\xi = \frac{D_{пз}}{D_{um}}$	$X_3$	1,228	1,40	2,20	3,0	3,172	0,80
		$-\beta$				$\beta$	

Все измерения и вычисления были сведены в матрицу планирования, которая, в целях обеспечения полного факторного эксперимента была составлена методом центрального ортогонального композиционного планирования.

На основании вычисленных коэффициентов регрессии была получена математическая модель предельной производительности ШСНУ с ЦП, при максимальной нагрузке в ТПШ 60 кН, максимальной длине хода плунжера 3,0 м, которая представляет собою уравнение в виде зависимости критерия оптимизации от условных координат

$$Y = 9,364 + 0,334 X_1 - 0,203 X_2 - 0,005 X_3 - 0,855 X_1 X_2 - 1,42 X_1 X_3 + 0,437 X_2 X_3 - 1,756 X_1^2 + 2,147 X_2^2 + 0,112 X_3^2 \quad (18)$$

Для определения величин оптимизируемых факторов (параметров) в физических единицах, соответствующих экстремуму целевой функции, а также с целью перевода их значений от условных координат к физическим координатам (значениям) воспользуемся данными таблицы 1, в результате получим:

$$X_1 = \frac{k_{PIM} - 5,0}{1,0}; X_2 = \frac{m' - 0,55}{0,20}; X_3 = \frac{\xi - 2,10}{0,8}, \quad (19)$$

или

$$X_1 = k_{PIM} - 5,0; X_2 = 5m' - 2,75; X_3 = 1,25\xi - 2,75. \quad (20)$$

Поставляя (20) в (18) получим искомую математическую модель предельной производительности в виде функциональной зависимости этого критерия оптимальности от физических параметров

$$Q_{np} = -46,527 + 24,144k_{PIM} - 44,67m' + 6,6\xi - 4,275k_{PIM}m' - 1,775k_{PIM}\xi + 2,731m'\xi - 1,756k_{PIM}^2 + 53,67m'^2 + 0,174\xi^2 \quad (21)$$

Полученные математические модели (21) и (18) обрабатывались на компьютере с учетом (20) и уровней варьирования факторов, приведенных в таблице 1. Затем, применением специальной вычислительной программы, на их основе были построены графические изображения моделей в виде изменения поверхности отклика от выбранных параметров  $k_{PIM}$ ,  $m'$  и  $\xi$  на трехмерной пространственной системе координат. Затем, на зафиксированных оптимальных уровнях этих параметров вычисляли и другие параметры. Значения выбранных параметров, соответствующие экстремуму модели (21) составляют  $k_{PIM}=5,03$ ;  $m'=0,558$  и  $\xi=2,308$ .

#### **Выводы:**

1. Предложенная конструкция устройства цепного привода скважинного штангового насоса наряду с техническим решением, позволяющим повысить эксплуатационных качеств ЦП ШСНУ дает возможность обосновать методику определения параметров сопротивления усталости промежуточных пластин, износостойкости цепи и потребной мощности для его привода.

2. Построенная математическая модель, представляющая собой полином зависимости критерия оптимизации от выделенных факторов в безразмерных координатах позволяет определить их оптимальные значения в условных и физических единицах.

#### **Список литературы:**

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В, Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 279 с.
2. Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Аbugалиев С.К. и др. Устройство цепного привода скважинного штангового насоса. Описание изобр. по Патенту РК № 23627 от 15.12.2010, бюл. № 12.
3. Молчанов Г.В., Молчанов А.Г. Машины и оборудование для добычи нефти и газа. — М.: Недра, 1984. — 464 с.

4. Патент РФ № 2301356, С1, F 04 В 47/02. - Цепной привод скважинного штангового насоса / Даутов Т.Г., Тахаутдинов Ш.Ф., Огнев М.Е., Торхов И.Н. и др. - Заявл. 10.01.2006; Опубл. 20.06.2007.
5. Поляков В.С., Барбаш И.Д. Муфты / Конструкции и расчет. Изд. 4, перераб. и доп.- Л.: Машиностроение, 1973, с. 271-273, рис. 193 а.
6. Тахаутдинов Ш.Ф., Ибрагимов Н.Г., Ахметвалиев Р.Н. и др. Результаты и перспективы применения цепных приводов скважинных штанговых насосов в ОАО «Татнефть» // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 3. — С. 68—71.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЕБАНИЙ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН**

***Полищук Андрей Дмитриевич***

*канд. техн. наук, доцент ИжГТУ, г. Ижевск*

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

***Гаранкина Елена Николаевна***

*магистрант, ИжГТУ, г. Ижевск*

*E-mail: [lamial69@gmail.ru](mailto:lamial69@gmail.ru)*

## **FORMULATION OF THE HELICAL SPRINGS EXPERIMENTAL INVESTIGATION PROBLEM**

***Andrey Polischuk***

*Cand. Technical, Associate Professor of Izhevsk Technical State  
University, Izhevsk*

***Elena Garankina***

*undergraduate of Izhevsk Technical State University, Izhevsk*

### **АННОТАЦИЯ**

Обсуждаются физика взаимосвязанных пространственных колебаний винтовых цилиндрических пружин и имеющиеся экспериментальные результаты. Ставится задача по исследованию колебаний пружине с целью исследования физики взаимосвязанных колебаний винтовых цилиндрических пружин.

## ABSTRACT

The physics and experimental data spatial interconnected oscillation of cylindrical helical springs are discussed. The experimental research problem of helical spring oscillation is formulated with the goal of helical springs oscillation physics investigations.

**Ключевые слова:** винтовые пружины; колебания; взаимосвязанность; нелинейность.

**Keywords:** helical springs; oscillation; interconnected; nonlinearity.

Винтовые цилиндрические пружины и пружинные механизмы играют важную роль в современной технике. Для многих пружин динамические явления: колебания, устойчивость и удар чрезвычайно важны. Важнейшим компонентом для исследования динамических явлений в пружинах и пружинных механизмах является исследование колебаний пружин: собственных частот и форм, вынужденных колебаний.

Кроме того, что понимание динамических явлений в пружинах важно для повышения долговечности и качества работы пружинных механизмов, это важно и как модельная задача. Пружины имеют сложный частотный спектр, частотный спектр несамосопряженной задачи — это интересно теоретически. В пружинах, при определенных допущениях, имеется аналитическое решение для теории колебаний. Это возможно, т. к. пружины, обладая геометрической нелинейностью, физически линейны. Пружины, как упругий элемент, работают при напряжениях, как правило, существенно меньше пределов пропорциональности. Соответственно, перемещение и вращение в пружинах жестко связаны друг с другом. Понимание физики взаимосвязанных пространственных колебаний винтовых цилиндрических пружин может помочь в понимании процессов, в которых имеется одновременно перемещение и вращение, но в которых аналитическое решение невозможно. Пружины — своеобразная «муха-дрозофила» механики.

Чтобы вести разговор о постановке задач экспериментальных исследований, кратко опишем методику решения теории колебаний винтового тонкого бруса в Ижевской школе. Используются классические уравнения Кирхгоффа-Клебша для винтового тонкого бруса [3] (уравнения Бернулли-Эйлера). Рассматриваются малые колебания относительно больших предварительных деформаций: поджатие и закрутка. Система координат естественная: нормаль, бинормаль и тангенциальная координата.

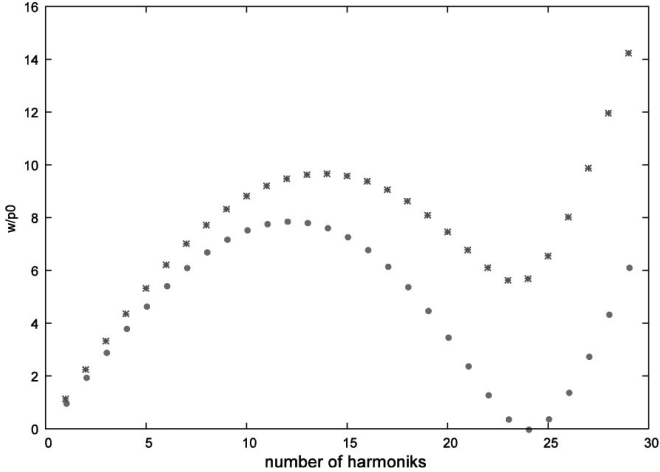
Реализовано два варианта граничных условий: жесткая заделка с обычными для жесткой заделки граничными условиями и своеобразное шарнирное опирание.



$$M_{\chi}(0) = \gamma(0) = V(0) = M_{\chi}(S_0) = \gamma(S_0) = V(S_0) = 0;$$

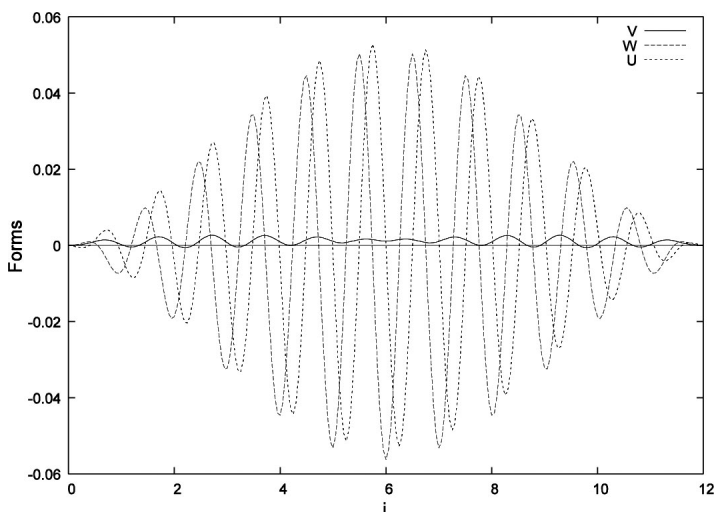
$$Q_{\chi}(0) = \varphi(0) = W(0) = Q_{\chi}(S_0) = \varphi(S_0) = W(S_0) = 0;$$

При шарнирном опирании и ряде допущений, получаем частотное биквадратное уравнение, его называем «порождающим решением», график на рисунке 1.



**Рис.1 Частотный спектр при «порождающем решении» для  $i=12$  (количество рабочих витков),  $\alpha=6^0$  (угол подъёма винтовой линии),  $t=0$  (относительное поджатие)**

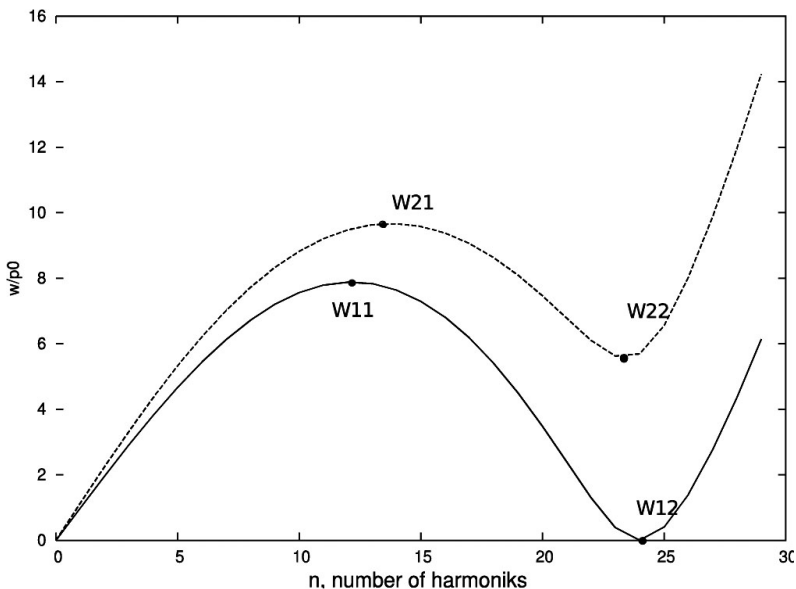
При жесткой заделке расчет частот ведется численным методом по аналитической зависимости: искомая собственная частота обращает в верное тождество характеристическое уравнение и граничное уравнение. Построены формы колебаний по шести координатам.



**Рис. 2** *Формы колебаний вдоль винтовой линии пружины для  $i=12$ ,  $m=0,1$ ,  $\alpha=60$ ,  $\omega\rho=0,79$  (безразмерная частота), антисимметричная мода. Координаты:  $U$  — нормаль,  $V$  — бинормаль,  $W$  — тангенциальная*

Особенность колебаний винтовых цилиндрических пружин — форма колебаний каждой моды имеет все шесть пространственных компонент, находящихся в определенной связи (рисунок 2). Исходя из этого, можно говорить о взаимосвязанных колебаниях пружины. Для пружин нет чисто продольных или чисто поперечных колебаний, тем не менее, в технической литературе по пружинам, обычно используется терминология эквивалентного бруса: продольные, поперечные, крутильные колебания. В данном случае продольные и поперечные колебания рассматриваются относительно оси пружины. Двум ветвям характеристического уравнения соответствуют две волны, существующие в твердом теле (рисунки 2, 3).

Следующая особенность частотного спектра винтовых цилиндрических пружин — возможность близкого совпадения основных частот пространственных продольных, поперечных и крутильных колебаний, также и других. При близком совпадении наблюдается взаимная модуляция форм колебаний, например, при близком совпадении пространственных продольных и поперечных колебаний в поперечных гармониках наблюдаются продольные компоненты, а в пространственной продольной — поперечные. Более подробно по физике пространственных колебаний винтовых пружин [2, 7].



**Рис. 3 «Особые» частоты (нераспространяющиеся моды) и их место на характеристическом уравнении**

Экспериментальных исследований частотного спектра было, как ни странно, совсем немного.

В первую очередь стоит упомянуть эксперименты грузинской школы: Хвингия М.В., Мгалоблейшвили Д.Б. [4]. Выполнен достаточно большой объем исследований. Основные недостатки: невысокая точность вследствие выбранной методики исследования и параметров пружины и при проведении экспериментов на исследователей давила «модель» эквивалентного бруса. Хвингия М.В. считал, что все виды колебаний объясняются эквивалентным брусом и кратными частотами, отдельно рассматривались продольные, крутильные и поперечные колебания. Считалось, что если возбуждаются продольные колебания, то будут реализованы только продольные. Однако, как показано в [2], за кратную к продольной частоте частоту принята одна из крутильных, поскольку в пружинах они возбуждаются одновременно.

Эксперименты ижевской школы [1, 2], на наш взгляд, наиболее точные и объемные, однако при проведении эксперимента была нехватка времени и эксперимент проводился, во многом, с целью подтверждения теоретических расчетов.

Зарубежных экспериментов авторам известно три, ссылки имеются на две [5, 6]. Обычно, испытывались одна-две пружины, в самых простых для расчетов случаях. Эти результаты кочуют из статьи в статью тех, кто занимается расчетами. По результатам видно, что эксперимент проводился с целью подтверждения теоретических расчетов.

Итак, об экспериментальных исследованиях винтовых цилиндрических пружин можно сказать следующее: их очень немного, они проводились, главным образом, с целью подтверждения теоретических результатов.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать задачу экспериментальных исследований колебаний винтовых цилиндрических пружин. Провести исследования так, чтобы максимально понять физику пространственных колебаний винтовых цилиндрических пружин, прицельно исследовать физические явления и расчетные артефакты, связанные с колебаниями пружин. Для этого варьировать параметры пружин, создавая условия для проявления тех или иных явлений. Так задача исследования колебаний пружин ещё не ставилась.

Например, исследовать частоты и формы колебаний при близком совпадении частот (взаимная модуляция, точность расчетов). При близком совпадении поперечных частот реализуется одна из них [2]: так ли это, если так, то какая и почему? Субрезонансы, предварительно, образуются только к основным частотам пространственных продольных, поперечных и крутильных колебаний, т.е. нижшим частотам (там, где частотный спектр более линейен) — так ли это? Имеются ли гиперрезонансы и комбинационные частоты? Особые частоты (моды с нулевой групповой скоростью) (рисунок 3): их роль, влияние на другие частоты, наличие в экспериментальном частотном спектре? Один из авторов обнаружил явление резкого уменьшения амплитуды резонансных колебаний при близком совпадении основных частот пространственных продольных, поперечных и крутильных колебаний при кинематическом нагружении и назвал это явление «размыв резонанса» [7], исследовать его: так ли это, насколько количественно, механизм процесса? Здесь на руку играет то, что в пружинах до таких явлений проще «дотянуться».

Для реализации вышеуказанных идей авторами разработаны и изготовлены опытные пружины и установки для крепления пружин. В настоящее время приступаем к непосредственным экспериментам.

В приведенной статье теоретическая часть и постановка задачи принадлежат Полищуку А.Д., расчет опытных пружин, их изготовление, проектирование и изготовление установки выполнены совместно обоими соавторами.

### **Список литературы:**

1. Полищук Д.Ф. Обобщённая теория цилиндрических пружин Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1992. 216 с.
2. Полищук А.Д., Полищук Д.Ф. Экспериментальная интеграционная механика. Москва-Ижевск.: Институт компьютерных исследований; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 124 с.
3. Товстик П.Е. Асимптотический метод интегрирования уравнений колебаний пружин // Вестник ЛГУ, 1962. - вып. № 7. С. 119—134.
4. Хвингия М.В. Вибрации пружин. М.: Машиностроение. 1969. 286 с.
5. Della Pietra L, Della Valle S. On the dynamic behaviour of axially excited helical springs. Meccanica, 1982. 17:31.
6. Mottershead J.E. Finite elements for dynamical analysis of helical rods. International Journal of Mechanical Sciences, 1980; 22:267.
7. Polishchuk A.D. Interconnected spatial vibrations of helical springs.// Proceedings of the XXXIV Summer School Advanced Problems in Mechanics — 2006. - pp. 413—422.

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ**

*Рахмилевич Евгений Георгиевич*  
*аспирант ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин», г. Москва*  
*E-mail: [eugene5089@mail.ru](mailto:eugene5089@mail.ru)*

## **RATIONAL CHOICE OF METHODS FOR PRODUCING BLANKS IN MODELING DESIGN-MANUFACTURING TECHNOLOGY OPTIONS DETAILS**

*Evgeniy Rakhmylevich*  
*postgraduate student of MSTU «Stankin», Moscow*

### **АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрена проблема выбора рационального метода получения заготовки при моделировании конструкторско-технологических вариантов изготовления детали. Показана необходимость решения проблемы комплексно с учетом структуры технологического процесса механообработки.

## ABSTRACT

The article considers the problem of selecting the rational method for producing blanks in modeling design-manufacturing technology options details. The necessity of solving the problem comprehensively, taking into account the structure of the technological process of machining.

**Ключевые слова:** производственная технологичность; заготовка.  
**Keywords:** manufacturability; blank.

Необходимость экономии дефицитных материалов, снижения технологической себестоимости и трудоемкости изготовления деталей машиностроения, как одни из основных факторов повышения конкурентоспособности продукции в современных рыночных условиях предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, определяющему возможность достижения оптимальных затрат на стадии производства. Так при механической обработке технологичность детали во много зависит от рационального выбора заготовки. Выбрать метод получения заготовки — значит наложить ограничения на технологический процесс ее изготовления (планы обработки поверхностей и последовательность выполнения переходов) с учетом материала детали, норм точности, технических требований, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска. Конфигурация детали может накладывать определенные ограничения и на вид заготовки, что обуславливает необходимость детальной отработки конструкции на производственную технологичность.

В выбор технологичной заготовки заложено условие определения наиболее высокого уровня технологичности из сопоставляемых вариантов ее получения. Отсюда следует, что количественные показатели технологичности метода получения заготовки должны определяться по удельным или нормативным показателям себестоимости или непосредственным определением себестоимости по сравниваемым вариантам. В основе выбора рационального способа получения заготовки должен лежать технико-экономический анализ возможных вариантов технологических процессов изготовления детали. Вариант технологического процесса с его параметрами и выбором метода получения заготовки, учитывающий влияние конструкции детали будем называть конструкторско-технологическим вариантом (КТВ).

Для принятия оптимального решения необходим анализ технико-экономической эффективности рассматриваемых КТВ, при сравнении которых следует учитывать достижение тех показателей, которые наиболее важны для предприятия. Перед решением о постановке детали на производство принятый КТВ изготовления должен быть экономически обоснован.

Развитие науки, масштабы промышленного использования ее результатов в современных условиях становятся важнейшими факторами повышения эффективности машиностроительного производства. Поэтому основной прирост производительности труда обеспечивается путем внедрения в промышленность новых технических средств и прогрессивных технологических процессов, автоматизации проектирования и производства. Это приводит к тому, что все более часто в процессе своей деятельности конструкторам и технологам приходится принимать технические решения, в том числе и совместные, путем выбора оптимальных решений. На этапе проектирования изделия, когда такое решение должно быть принято, часто они не располагают необходимой исходной информацией. Несмотря на не полное наличие информации должен быть выбран тот предпочтительный вариант конструкции изделия или технологического процесса с укрупненно-рассчитанными параметрами, который затем будет разрабатываться для внедрения в производство.

Решение задачи максимального приближения геометрической форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали стало одной из главных тенденций технического прогресса в заготовительном производстве. Решение этой задачи часто ограничивают сферой технологии производства, не учитывая того, что заданные конструктором геометрия, размеры и марка материала детали во многом предопределяют технологию ее изготовления. Выбор вида заготовки для детали частично уже определен в конструкторской документации, так как при расчете деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик проектируемой детали конструктор исходит из физико-механических свойств применяемого материала с учетом, влияния на них метода получения заготовки. Следовательно, уже на стадии конструкторской проработки необходимо проводить сравнительный технико-экономический анализ различных КТВ изготовления детали, в том числе вариантов получения заготовки, пользуясь хотя бы укрупненными показателями [1], в результате чего должен быть выбран оптимальный способ получения заготовки и в дальнейшем с учетом его технологических особенностей должна быть спроектирована деталь.

Физико-механические свойства отдельных конструкционных материалов (пластмасс, спеченных порошковых материалов и др.) и условия специальных видов обработки накладывают дополнительные требования к технологичности конструкции деталей.

Факторы, влияющие на себестоимость производства в машиностроении, можно разделить на три группы [2]:

1-я группа — конструктивные факторы, т. е. конструктивное решение самой детали, обеспечивающее приемлемость ее для изготовления обработкой давлением, литьем, сваркой; выбор марки материала и технических условий;

2-я группа — производственные факторы, т. е. характер и культура производства, технологическая оснащенность, техно-логический и организационный уровни производства;

3-я группа — технологические факторы, характеризующие способ формообразования заготовки, выбор самой заготовки, оборудования и технологического процесса получения детали.

В статье рассматривается 3-я группа факторов. Все три группы факторов взаимосвязаны и оказывают существенное влияние на технологическую себестоимость изготовления детали, так как способ получения заготовки в значительной мере предопределяется конструкцией, ее материалом, а также характером производства, его технологическим и организационным уровнем, и то, насколько полно в заготовке учтено влияние факторов первой и второй групп, позволяет судить о технологичности заготовки. Под технологичностью заготовки принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надежность работы детали при эксплуатации. Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Определение наиболее рационального КТВ детали с точки зрения приспособленности к производственной системе предприятия может быть обеспечено только на основании анализа результатов оценки количественных показателей конструкции.

Технико-экономический анализ основан на одновременном анализе себестоимости и трудоемкости, как в заготовительных, так и в механических цехах, т. е. необходимо определить себестоимость и трудоемкость изготовления детали по всем выбранным КТВ, сопоставить их между собой и на основании этого выбрать способ получения заготовки с минимальной себестоимостью готовой детали при условии обеспечения технических требований. Если при выбранных способах объем механической обработки одинаков, можно ограничиться подсчетом себестоимости только в заготовительных цехах.

Нормативные материалы, используемые в сопоставительных расчетах, во многом зависят от объемов выпуска и серийности производства. Именно эти факторы больше всего влияют на нормы затрат времени, труда и материалов, поскольку связаны с технологией. Они же предопределяют условия для разумного выбора оборудования,



размеры его оптимальной загрузки, экономически оправданного оснащения процесса и т. п.

Способ получения заготовки по своим техническим возможностям не должен рассматриваться в отрыве от технологии последующей механической обработки. В противном случае успехи, достигнутые в заготовительном производстве, могут быть вредны с точки зрения увеличения затрат и трудоемкости при механической обработке и как в итоге в общей трудоемкости изготовления. Поэтому для достижения максимальной эффективности эти задачи следует решать комплексно на основе развернутого технико-экономического анализа всех факторов производства.

В условиях мелкосерийного производства одной из главных задач является выбор наилучшего технологического процесса, т. е. определение такого технически допустимого сочетания технологических параметров или технологических процессов, которые отвечали бы заданным требованиям выполнения производственной программы с наименьшими затратами труда, материалов, рациональным использованием оборудования и т. д. Особенностью этапа принятия решения об оптимальном методе получения заготовки, является наличие большого числа вариантов. Сравнительную оценку возможных вариантов получения заготовки необходимо производить по определенному показателю — критерию. В качестве основного критерия, по которому можно судить об эффективности принимаемых решений, рекомендуется использовать показатель технологической себестоимости изготовления партии деталей.

Выбор способа получения заготовки — очень сложная, иногда трудноразрешимая задача, так как часто различные способы могут надежно обеспечить технические и экономические требования, предъявляемые к детали.

Задача выбора заготовки должна решаться комплексно со смежными задачами технологической подготовки производства. За счет рационального выбора метода получения заготовки и назначения экономически обоснованных припусков на механообработку можно снизить такие важнейшие технико-экономические показатели изготовления как трудоемкость и технологическую себестоимость изготовления.

### **Список литературы:**

1. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987.— 256 с.
2. Мойсеев М.П. Экономика технологичности конструкций. М.: Машиностроение, 1981. — 253 с.

## СЕКЦИЯ 5.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Семенов Александр Сергеевич*

*старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация горного производства», Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия*

*E-mail: [sash-alex@yandex.ru](mailto:sash-alex@yandex.ru)*

#### WORKING TO MONITORING SYSTEM QUALITY OF ELECTRIC ENERGY MINING INDUSTRY

*Alexander Semenov*

*sr. lecturer of pulpit “Electrification and automatization mining industry” Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Mirny, Sakha, Russia*

#### АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена вопросам разработки системы мониторинга показателей качества электроэнергии горных предприятий путем установки современных цифровых анализаторов с возможностью сбора полученных данных в единой базе горного предприятия и доступа к ней по локальной или беспроводной сети.

#### ABSTRACT

This article is devoted on the working to monitoring system quality of electric energy mining industry through the installation of modern digital analyzer with the ability to collect the data in a single database of mining industry and access to local or wireless network.

Ключевые слова: качество электроэнергии; горное предприятие; система мониторинга; показатели качества электроэнергии; электромагнитная совместимость; база данных; передача информации.

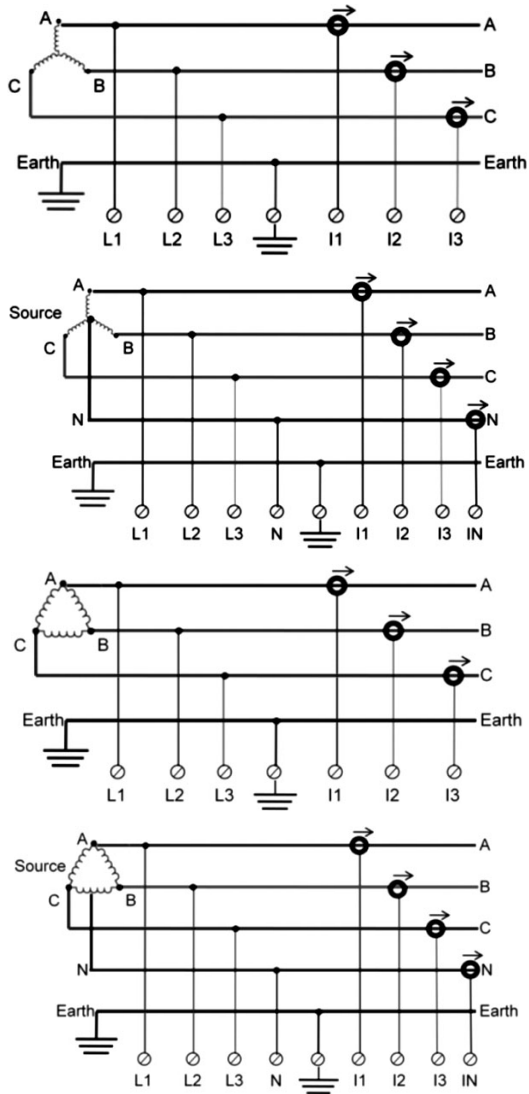
Keywords: quality of electric energy; mining industry, monitoring system, power quality, electromagnetic compatibility, database, information transmission.

Нормы качества электроэнергии, устанавливаемые межгосударственным стандартом ГОСТ 13109-97 [1, с. 4—10], являются уровнями электромагнитной совместимости для всех видов электроприемников и электрооборудования, установленных на горном предприятии. Понятие качество электроэнергии (КЭ) отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальных частоте, напряжении, токе и т. п., поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое качество. Известно, что КЭ влияет на работу электрооборудования, и в условиях, когда КЭ не соответствует установленным нормам, электрооборудование, подвергаясь воздействию электромагнитных помех, не может нормально функционировать, снижая срок службы и производительность, влияя тем самым на технологический процесс. Качество электроэнергии характеризуется одиннадцатью видами показателей качества электроэнергии (ПКЭ) (электромагнитных помех), восемь из которых нормируются. Проблема обостряется в тех случаях, когда в системе электроснабжения установлено электрооборудование способное в силу принципа действия создавать эти помехи. Таким оборудованием на горных предприятиях являются частотно-регулируемые электроприводы и двигатели постоянного тока. Создаваемые ими помехи оказывают отрицательное воздействие и на другое оборудование, которое нельзя отнести к столь типичному источнику помех как электропривод.

К основным задачам мониторинга ПКЭ относится: обнаружение помех и их оценка; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов; оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям; определение источника помех; проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии. Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых ПКЭ. В зависимости от длительности наблюдения можно выделить два вида организации контроля КЭ: периодический и постоянный. Отличие постоянного контроля от периодического заключается в непрерывности

времени измерений и обработки результатов. Общие требования, предъявляемые к системе мониторинга ПКЭ, являются обязательными по причине того, что определяют те условия, при которых эти системы должны нормально функционировать в рамках основной погрешности, при обеспечении должного уровня безопасности от поражения электрическим током. Системы мониторинга ПКЭ должны в реальном масштабе времени обеспечивать непрерывное измерение ПКЭ и вспомогательных параметров электроэнергии, должны быть цифровыми программируемыми приборами, использующими высокоразрядные аналого-цифровые преобразователи и быстродействующие процессоры.

Планируется проводить измерения ПКЭ на объектах подземного рудника по добыче алмазонасной руды [2, с. 64—65]. В качестве средств измерения будут использоваться анализаторы качества электроэнергии G4400 BlackBox, являющиеся инновационными приборами производства компании Elspec (Израиль). Анализаторы предназначены для измерения параметров трехфазной трехпроводной или четырехпроводной, симметричной или несимметричной электрической сети, с одновременным отображением, сохранением, ведением архива текущих значений и их цифровой передачей данных. Анализаторы G4400 обеспечивают измерение следующих характеристик в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97: установившихся значений отклонения частоты переменного тока; установившихся значений отклонения напряжения основной частоты; коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения; коэффициента искажения несинусоидальности напряжения; глубину и длительность провала напряжения; коэффициент и длительность временного перенапряжения. Возможные схемы подключения анализаторов к трехфазной трехпроводной или четырехпроводной электрической сети приведены на рисунке 1.

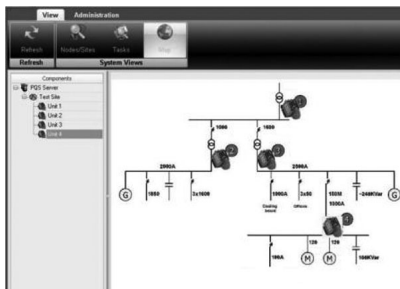


**Рис.1. Схемы подключения анализатора к трехфазной сети.**

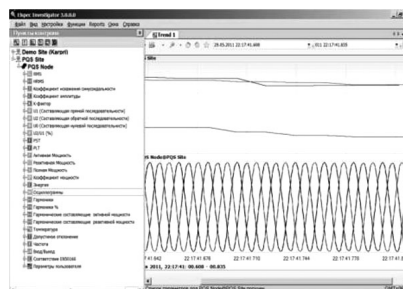
В состав особо мощных нелинейных электроприемников подземного рудника входят: регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины скипового подъема скипового ствола;

регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины клетьевого ствола; частотно-регулируемый электропривод вентилятора главного проветривания. За период измерений будет осуществлен контроль напряжения на четырех секциях шин и измерены дополнительные характеристики качества электроэнергии по току и мощности на восьми присоединениях. В результате проделанных измерений будет выявлено соответствие либо несоответствие требованиям ГОСТ измеренных показателей качества электроэнергии.

Также в ходе проведения измерений, все полученные данные будут сохранены либо в память анализатора, либо при существующем подключении прибора к персональному компьютеру по средствам порта LAN непосредственно в базу данных реализуемую программным обеспечением PQSCADA. Это мощная программа анализа данных, позволяющая просматривать детализированные данные для широкого спектра параметров. Можно увеличить масштаб представления данных, начиная от данных за год и заканчивая миллисекундами, для идентификации деталей, связанных с качеством электроэнергии, включая изменения напряжения, тока, частоты, гармоники, суммарный коэффициент гармоник, пульсации мощности и энергии. Сервер PQSCADA формирует связь с устройствами серии BlackBox, число которых может быть неограниченно (рисунок 2). Каждое, отдельное устройство будет постоянно записывать форму сигналов, которые программа PQSCADA будет автоматически накапливать, сохранять и обрабатывать. После создания базы данных и записи в неё полученных измерений с помощью программы PQSCADA и связанного с ней приложения Elspec Investigator предоставляется широкий спектр возможностей для отображения записанных ранее данные в виде графиков и таблиц (рисунок 3).



**Рис.2. PQSCADA с объединением четырех анализаторов G4400.**



**Рис.3. Окно программы отображения данных Elspec Investigator.**

На основании данных, измеренных анализаторами G4400, программное обеспечение Elspec Investigator осуществляет оценку соответствия ПКЭ установленным нормам с формированием протокола соответствия качества измеренной электроэнергии. В программе с левой стороны окна виден список из 26 параметров сети, каждый из которых «раскрывается» и назначается отдельно по каждой фазе. В правой стороне окна отображаются временные графики выбранных параметров. Ось времени позволяет сжимать ее до двух лет или растягивать до десятков микросекунд. Одновременно допускается вывод на дисплей нескольких параметров для сравнения и анализа синхронности и одновременности процессов.

Управление анализатором и его настройка возможна как по проводам, так и по беспроводному интерфейсу Wi-Fi. При этом, подключение к компьютеру необходимо только для считывания и анализа данных. Сбор и запись данных прибор может вести автономно. При наличии модема с фиксированным IP адресом возможно удаленное подключение к прибору, находящемуся за тысячи километров через обычную сеть интернет.

В данной статье была рассмотрена перспектива разработки системы мониторинга показателей качества электроэнергии на горных предприятиях. Для создания такой системы было представлено описание анализатора ПКЭ G4400 BlackBox и специализированных программ PQSCADA и Elspec Investigator. При установке такой системы мониторинга на горное предприятие, можно вести непосредственный контроль показателей качества электроэнергии энергослужбам горного предприятия с любого рабочего места, имеющего персональный компьютер.

### **Список литературы:**

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1998.
2. Кузнецов Н.М., Егоров А.Н. Проблемы электромагнитной совместимости на горных предприятиях и пути их решения: материалы международной научно-практической конференции / Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений. — Мирный, 11—15 апреля 2011 г. Якутнипроалмаз. С. 64—65.
3. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие для вузов И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательский дом МЭИ, 2008. — 354 с.

## СЕКЦИЯ 6.

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КРОВЕЛЬ ИЗ РУЛОННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОДХОДЫ К ИХ ВЫБОРУ

*Еропов Лев Алексеевич*

*канд. техн. наук, доцент ВлГУ, г. Владимир*

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

#### FEATURES OF WORK OF ROOFS FROM THE ROLLED ROOFING MATERIALS AND APPROACHES TO THEIR CHOICE

*Lev Eroпов*

*Candidate. Technical. , Associate Professor of Vladimir State  
University,  
Vladimir*

#### АННОТАЦИЯ

В статье приводятся особенности работы рулонных кровельных покрытий в условиях эксплуатации, а также причины и характер их разрушения при работе на крышах зданий. В результате проведенных обзора и исследований сделаны предложения по выбору конструкций и материалов рулонных кровель.

#### ABSTRACT

Features of work of rolled roofing coverings are given in article under operating conditions, and also the reasons and nature of their destruction at work on roofs of buildings. As a result of carried out the review and researches proposals at the choice of designs and materials of rolled roofs are made.

**Ключевые слова:** особенности; кровли; эксплуатация; качество.

**Keywords:** features; roofs; operation; quality.



Условия эксплуатации кровель в нашей стране очень жестки - жара, мороз, дождь, ветер и другие. Например, в Москве температура поверхности рулонных мягких кровельных ковров летом может достигать до 80°C, а зимой падает до -30°C—40°C. Таким образом амплитуда колебаний температуры кровли в течение года превышает 100°C, а летом ежедневно доходит до 50—70°C и даже более. В настоящее время наибольшее применение в России для плоских и малоуклонных крыш находят кровли из наплавляемых битумных и битумно-полимерных рулонных материалов. Наибольшее влияние на материалы этих крыш оказывает высокая температура и ультрафиолетовые лучи, меньшее — вода, переменное замораживание и оттаивание или увлажнение и сушка.

Под влиянием тепла и ультрафиолетовых солнечных лучей в битуме верхнего покровного слоя наплавляемых битумных и битумно-полимерных рулонных материалов развиваются процессы окисления, полимеризации, деструкции, образования водорастворимых соединений, улетучивания масел, уменьшения содержания смол и увеличения асфальтенов. В результате этого битум становится хрупким, в нем появляются трещины, повышается температуру размягчения и снижается пенетрация, то есть появляются признаки старения. Как установлено ранее проведенными исследованиями [2], проникаемость битума ультрафиолетовыми лучами составляет 0,3—0,4 мм, а нижележащие слои не подвергаются столь интенсивному старению. Это позволило разработать рулонные материалы с толщиной покровного слоя из битума или полимербитума не менее 0,6 мм, что обуславливает их достаточную долговечность.

Вода в кровле и на кровле, особенно при повышенных температурах, вызывает в материалах процессы окисления, и в результате этого образуются водорастворимые соединения. Вымывание их влагой ведет к образованию в материалах пористости и повышенного водопоглощения. По этой причине рулонные кровли из битумных или битумно-полимерных материалов рекомендуется устраивать обязательно с уклоном не менее 1 %, который гарантируют сток воды даже при наличии прогибов конструкций или допустимых отклонений поверхности кровли из плоскости.

При увлажнении кровельных покрытий прочность материала кровли падает. После 6 месяцев нахождения их в воде прочность рулонных материалов может составлять до 5 % от первоначальной [1, 2].

Разрушение покровного слоя битумных и битумно-полимерных рулонных материалов вызывается не только химическими, но и

физическими процессами. При повышении температуры проникая в битум кровельных материалов влага испаряется и образует в покровном слое пузырьки пара. Одновременно происходит размягчение битума и понижение его вязкости. Битумные стенки пузырьков не выдерживают давления пара и лопаются. После того, как вода по трещинам и открытым кратерам получает доступ к основе рулонного материала начинают развиваться процессы биологического и химического разрушения основы. Поэтому долговечность кровли в основном определяется сроком сохранности покровного верхнего слоя. Дальнейшему развитию трещин и кратеров способствует циклическое замерзание попавшей в них влаги.

Разрушение кровли является не только следствием непосредственного воздействия атмосферных факторов и солнца, но также и взаимодействия кровельного ковра с основанием. Наиболее характерные повреждения кровли в этом случае - вздутия и разрывы. Разрывы в кровле возникают при образовании трещин в основании. Вздутия образуются и летом в результате испарения влаги, имеющейся в основании и кровельном ковре. На морозе возможно появление трещин в кровле из битумных рулонных материалов от случайной ударной нагрузки, например, от падения ручного инструмента.

Нанесенная на кровлю ветром пыль может служить почвой для произрастания трав и других растений. Такая почва является хорошей средой для развития микроорганизмов, которые разрушают кровельные материалы. Корни растений с большой легкостью прорастают через слои рулонных материалов кровельного ковра, ослабленного воздействием микроорганизмов. Корнестойкими являются дегтевые материалы и полиэтиленовая пленка. У последней после нескольких лет эксплуатации сохраняется прочность, а относительное удлинение сокращается почти существенно. Кроме того, птицы, кормясь насекомыми, живущими в растительном слое почвы, иногда проклевывают кровельный ковер.

Рулонные кровли из битумных и битумно-полимерных материалов, как отмечает отечественная и зарубежная практика, могут служить более 20 лет. Однако, средняя долговечность кровель из рубероида в России составляет 5—7 лет, из битумных наплаваемых материалов — 10—20 лет, из битумно-полимерных материалов — 15—25 лет. Основная причина малого срока службы кровель из рубероида - их преждевременный износ из-за появления трещин и вздутий в покровном слое с замачиванием основы из картона.

Хорошее качество склейки слоев рулонного ковра и его приклейка в основание затрудняет появление вздутий, так как силе давления пара

необходимо преодолеть силы адгезии битума к основанию и к рулонному материалу. Устройство «дышащей» кровли, то есть кровли с частичной приклейкой к основанию, способствует удалению водяного пара из под кровли наружу при ее нагреве. При нарушении сплошности приклейки кровельного ковра рулонный материал удлиняется, и в кровельном ковре могут образовываться складки, но протечек они не вызывают. Попеременное насыщение водой и последующая сушка кровельных материалов почти не вызывает их усадки.

Чем ниже температура размягчения битумных приклеивающих мастик и наплавляемого битума, тем меньше их хрупкость при низких температурах. Но низкая температура приклеивающих мастик и битума может вызвать сползание кровельного ковра, что особенно это часто бывает в местах примыканий кровли к стенам. Наличие большого уклона может вызвать стекание мастик, имеющих недостаточно высокую температуру размягчения. Введением наполнителя в битум с невысокой температурой размягчения можно повысить теплостойкость мастик и одновременно понизить их хрупкость, приводящую к растрескиванию и отслоению рулонного материала при отрицательных температурах. По этой причине для приклейки рулонного ковра отечественными стандартами рекомендуются мастики и битумы только с наполнителями.

Конструкция и цвет кровли, а также теплопроводность основания оказывают существенное влияние на температуру кровельного ковра. По данным проведенных исследований защитный слой из гравия светлых тонов толщиной 5 см снижает температуру кровельного ковра на 30°C, а при температуре воздуха 36°C рубероид со слюдяной посыпкой имеет температуру 60°C, с красной посыпкой — 52°C, а с алюминиевой — 45°C, а пятисантиметровый слой воды в водонаполненных покрытиях по понижает температуру кровли на 20°C.

Разработка требований к современным кровельным рулонным материалам по прочности, деформативности, хрупкости и другими физико-механическими характеристиками для заданного климатического района является актуальной задачей. При этом следует учитывать опыт, накопленный в течение нескольких десятилетий мировой наукой в области создания конструкций кровель из новых материалов и технологии их устройства и на такой основе разрабатывать новые требования к выбору материалов кровельных ковров и конструкций для них.

Для выбора кровельного покрытия одними из важных являются их экономические показатели. В последние два года особенно бурно развивался рынок мягких кровельных (в основном рулонных)

материалов (МКМ). Предложений в этой области очень много. В первую очередь предлагаются ставшие уже привычными наплавливаемые битумные и битумно-полимерные рулонные материалы, а также полимерные рулонные материалы. До сих пор применяют и традиционные материалы — рубероид, толь, но, в основном, для временных зданий и сооружений. На рынке в нашей стране представлена продукция и отечественных производителей и зарубежных поставщиков. Производители кровельных материалов ориентируются на последние мировые достижения и стараются не отставать. Разница в цене на различные виды МКМ весьма значительна. Причем импортные материалы дороже традиционных, но более качественны. Постепенно наши отечественные производители повышают качество новых рулонных материалов и вытесняют импортные гораздо более дешевыми, не уступающие им ни в чем.

Из приведенных особенностей работы кровельных покрытий подходы к их выбору могут быть следующие:

- обеспечение надежной склейки кровельного ковра с основанием за счет применения более качественных приклеивающих мастик или наплавливаемого битума;
- устройство дышащей кровли;
- применение мастик и битумов с более низкой температурой размягчения;
- выбор кровельных материалов с более светлым верхним покрытием;
- выбор кровельных материалов с определенными характеристиками прочности, деформативности, хрупкости и другими для заданного климатического района;
- по экономическим показателям.

### **Список литературы:**

1. Сафонов А.М. Разработка лабораторных методов оценки надежности кровель и совершенствование их конструкций на крупнопанельных покрытиях: Дис... канд. техн. наук. - М., 1966. — 190 с.
2. Фоломин А.И., Сафонов А.М. Кровли крупнопанельных зданий. — М., 1966.

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Клюева Наталья Витальевна*

*д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-  
УНПК», г. Орел*

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

*Азжеуров Олег Владимирович*

*аспирант, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный  
университет», г. Курск*

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

## SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS OF RATIONING OF SURVIVABILITY OF FERRO-CONCRETE DESIGNS AT SUDDEN BEYOND DESIGN BASIS EFFECTS

*Natalia Klueva*

*doctor of sciences, professor of Orel state technical university, Orel*

*Oleg Azjeurov*

*post-graduate student of South-West state university, Kursk*

### АННОТАЦИЯ

Изложены основные противоречия в нормативном обеспечении расчета на живучесть железобетонных конструкций при внезапных запроектных воздействиях.

### ABSTRACT

The main contradictions in standard ensuring calculation on survivability of ferro-concrete designs are analysed at sudden beyond design basis effects.

**Ключевые слова:** живучесть; железобетонные конструкции; запроектные воздействия; нормативное обеспечение.

**Keywords:** survivability; ferro-concrete designs; beyond design basis effects; standard providing.

Проблема обеспечения безопасности при проектировании, строительстве и поддержании в надежном состоянии конструкций зданий и сооружений в различных отраслях экономики в последнее

время становится одним из важнейших направлений деятельности научно-исследовательских проектных и строительных организаций во многих странах мира. Она входит в число приоритетных направлений РААСН и критических технологий федерального уровня [1, 3]. Указанная проблема остро встала в России в новых экономических условиях, в которых проектирование и строительство зданий и сооружений осуществляется множеством проектных и строительных фирм разного уровня квалификации и ответственности.

Анализ отечественной практики проектирования и строительства показал, что проектная документация выполняется чаще всего поэтапно и подвергается экспертизе далеко не в полном объеме, определенном действующими нормативно техническими требованиями. Такое положение дел, особенно для технически сложных объектов, приводит к прямому нарушению нормативных требований безопасности проектируемых объектов.

Отметим, что даже при соблюдении всех требований современных норм не обеспечивается необходимый уровень надежности. Нормы лишь устанавливают минимальный уровень безопасной эксплуатации и долговечности конструкции и закладывает ее в конструкции на стадии проектирования.

Основными документами, определяющими безопасную эксплуатацию конструкций являются государственные нормы проектирования и, следовательно, их состояние и концепция совершенствования представляет первостепенный интерес при рассмотрении данной научно-технической проблемы.

Одним из методов повышения безопасности эксплуатации объекта может быть его обеспечение таким качеством, как живучесть. На практике при реализации данного качества возникают трудности на стадии разработки проектной документации. Причина состоит в том, что в кругах инженерно-научного сообщества существуют различные точки зрения, как в терминологии, так и в подходах к решению проблемы обеспечения живучести железобетонных конструкций.

По нашему мнению, наиболее полным является определение понятия «живучесть» как свойства статически неопределимой конструктивной системы сопротивляться разрушению при отказе одного из ее наиболее нагруженных элементов, связанным с внезапным запроектным воздействием [2]. Уровень живучести железобетонных конструкций характеризуется количеством локальных разрушений конструктивной системы.

В соответствии с действующими нормами расчет конструктивной безопасности и живучести железобетонных конструкций базируется на методе предельных состояний. Особенно важным при расчете

живучести является учет возможных воздействий, не предусмотренных проектом. Причинами отказа могут выступать как воздействия, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации конструкций (в том числе возникающие при чрезвычайных ситуациях), так и грубые человеческие ошибки. С введением в хозяйственный оборот новых технологических решений и увеличением объемом реконструкции неизбежен рост отмеченных и других видов запроектных воздействий. Поэтому для обеспечения снижения ущерба при возникновении запроектных воздействий важной задачей является разработка таких подходов к прогнозированию состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций и зданий в целом, которые максимально обеспечат их безопасность.

В настоящее время в Российской Федерации по рассматриваемому вопросу существует ограниченная нормативная база, которая почти не подвергалась изменениям. Обязательный расчет строительной конструкции на отказ любого элемента предписывает пункт 1.10 ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований». Однако этот документ, введенный в действие еще в 1988 году, не содержит информации и не отвечает на вопрос о том, зачем нужен и каким образом технически можно выполнить данный пункт. Поэтому в России для выполнения большинства расчетов при реальном проектировании используется серия рекомендаций, разработанная специалистами МНИИТЭП. С одной стороны, в этих рекомендациях, не прошедших широкого и всестороннего обсуждения в научно-исследовательских и проектных институтах, имеется много противоречий, как между отдельными документами, так и внутри самих документов. Такие противоречия вносят несогласованность мнений между специалистами. Как результат, появляются конструктивные решения, приводящие к перерасходу материалов. С другой стороны, поскольку эти документы носят рекомендательный характер, их применение в практической деятельности вынуждает инженеров-проектировщиков работать вне правового поля.

Проблема нормирования живучести железобетонных конструкций в последние годы коснулась большинства стран мира, включая Россию, СНГ, страны Восточной и Западной Европы. Не случайно, вслед за европейскими странами, объединившимися в создании международных норм, так называемых Еврокодов и Евростандартов, идет объединение усилий в плане создания Азиатских региональных норм, гармонизации норм и стандартов стран Восточной Европы, России и стран СНГ.

В настоящее время концепция создания Европейских норм приобрела достаточно строгое очертание, согласно которому эти нормы включают три основные части: 1) общие нормативные требования;

2) Еврокоды; 3) Евростандарты. Из намеченных к разработке восьми Еврокодов на сегодняшний день наиболее разработаны три, в их числе Еврокод-2 «Железобетонные конструкции».

Следовательно, представляет интерес проблема создания научных основ анализа живучести железобетонных конструкций при запроектных воздействиях, а также совершенно новые исследования, касающиеся безопасности, которые могут быть включены в стратегию создания Европейских и отечественных норм по строительным конструкциям, нагрузкам и воздействиям. В основе Еврокодов остается метод расчета по предельным состояниям. Как и раньше, безопасность конструкции обеспечивается системой коэффициентов надежности. Это вызывает наибольшую сложность при гармонизации Еврокодов с действующими национальными нормами в отдельных странах. Сложность связана с принятыми в этих нормах разными коэффициентами запаса, как по нагрузкам, так и материалам.

Анализ указанных особенностей проектирования по отечественным нормам и нормам западных стран позволяет сформулировать возможные аспекты исследования, направленные, с одной стороны, на гармонизацию отечественных и западных норм, с другой стороны, на совершенствование проектирования железобетонных конструкций с позиции требований живучести.

Таким образом, в настоящее время вопреки прогрессу в области проектирования железобетонных конструкций зданий и сооружений в мировой и отечественной практике проблема живучести при внезапных запроектных воздействиях далека от ее эффективного решения. Основная причина в том, что проектировщики даже при работе над обычными зданиями, не говоря уже об уникальных сооружениях, не имеют единой и четкой методики и концепции расчета на живучесть.

### **Список литературы:**

1. Булгаков С.Н. Технологические инновации в инвестиционно-строительном комплексе: учеб. пособие. — Белгород: изд-во БелГТАСН, 1998.— 547 с.
2. Ключева Н.В., Бухтиярова А.С., Прокопенко В.В. К определению параметра живучести пространственных конструктивных систем смешанным методом // Известия Юго-Западного государственного университета.- 2011. — № 3. С. 146—149.
3. Сборник докладов конференции «Критические технологии в строительстве». М.: изд-во МГСУ, 1999. — 348 с.



**СЕКЦИЯ 7.**  
**ТЕХНОЛОГИЯ**  
**ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

**ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКТИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА**  
**ИЗ ЯБЛОЧНЫХ ВЫЖИМОК С ПРИМЕНЕНИЕМ**  
**МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

***Корнена Елена Павловна**  
профессор, д-р техн. наук, Кубанский государственный  
технологический университет, г. Краснодар*

***Печерица Мария Алексеевна**  
аспирант кафедры технологии жиров, КубГТУ, г. Краснодар*

***Степанова Евгения Григорьевна**  
доцент, канд. техн. наук, КубГТУ, г. Краснодар  
E-mail: [egs2128@mail.ru](mailto:egs2128@mail.ru)*

**RECEIVING A PECTINACEOUS CONCENTRATE FROM**  
**APPLE RESIDUE WITH APPLICATION OF METHODS OF**  
**ELECTROTECHNOLOGY**

***Kornena Elena Pavlovna**  
Professor of department of fat-technology of Kuban State  
Technological University, Krasnodar*

***Pecheritsa Mariya Alekseevna,**  
Post-graduate student of department of fat-technology of Kuban State  
Technological University, Krasnodar*

***Stepanova Evgeniya Grigorievna,**  
Senior lector of department of machine and devices of food  
productions fat- technology of Kuban State  
Technological University, Krasnodar*

## АННОТАЦИЯ

Предложена аппаратурно-технологическая схема переработки яблочных выжимок с получением пектиносодержащего концентрата. На стадии экстрагирования использован электроактивированный водный раствор (анолит) хлорида натрия.

### ABSTRACT

Hardway-technological scheme of processing apple garbage with receiving a concentrate of pectin is offered. At stage of extraction electro activated water solution (anolyte) NaCl is used.

**Ключевые слова:** яблочные выжимки; экстрагирование; пектиносодержащий концентрат; электрохимическая активация; анолит.

**Keywords:** apple garbage; extraction; concentrate of pectin; electrochemical activation; anolyte.

Интенсивный расход сырьевых ресурсов ставит человечество перед проблемой организации малоотходной энергосберегающей технологии промышленной переработки продуктов питания с учетом качества, назначения и продолжительности сроков их хранения.

Отходы промышленной переработки продуктов питания являются ценным источником вторичных ресурсов для различных целей. Например, отходы консервного производства из растительного сырья составляют в среднем 21 % от всего перерабатываемого продукта. При переработке яблок образуются отходы — выжимки (при производстве соков прессованием) в количестве 23—47 %, вытерки (при получении пюре и соков с мякотью) — 10—18 %, очистки (при изготовлении компотов, варенья, джема, конфитюра) — 30—40 % [2, с. 112].

Яблочные выжимки применяются как добавка при производстве пюре, при выработке пектина, для получения уксуса и спирта, как составная часть питательной среды для выращивания плесневого грибка с целью получения пектолитического ферментного препарата, используются и на кормовые цели. Основная ценность яблочных выжимок в том, что они, помимо сахара, минеральных и органических кислот, содержат до 12 % пектина в пересчете на СВ [1, с. 38]. Пектины — широко используемые в промышленности природные соединения. В пищевой промышленности их применяют в производстве зефира, мармелада, конфитюров, джемов, колбасных изделий, соков, йогуртов и некоторых других продуктов. В медицине и фармацевтике — в производстве детских гранул, суспензий, гелей, для придания вязкости эмульсиям, связывания ионов тяжелых металлов, лечения ран, выработки

питательных сред и т. д. В косметической промышленности их применяют при производстве некоторых масок для лица и гелей.

Анализ уровня технологий и технического производства и результатов научных исследований отечественных и зарубежных ученых показал, что для широкого освоения экологически безопасного производства пектинопродуктов необходимо дальнейшее совершенствование основных технологических процессов получения пектина, так как предлагаемые инновационные технологии ограничиваются лабораторными исследованиями и не находят применения в промышленности.

Предлагаемая технология и ее аппаратное оформление должны обеспечить оптимальные условия протекания процесса экстрагирования пектиновых веществ при высоком выходе и минимально возможной деструкции его макромолекул. Разработанная технология предполагает использование шнекового диффузионного аппарата на этапе экстрагирования пектиновых веществ, который протекает в мягких кислотных и температурных режимах, что благоприятно сказывается на качестве конечного продукта (степень этерификации, молекулярная масса). Данная схема включает применение метода электрохимической активации на этапе следующие процессы:

1. экстракцию свежих выжимок электроактивированным в анодной камере диафрагменного электролизера водным раствором соли NaCl с концентрацией 0,1 % , pH 3,5 и редокс-потенциалом (Eh), равным 0,65 В при температуре 60°C в течение 20 минут в шнековом экстракционном аппарате при соотношении твердой и жидкой фаз 1:5;
2. разделение смеси пектиносодержащего экстракта и проэкстрагированных выжимок на отжимном шнековом прессе с возвратом отпрессованной жидкой фракции на экстрагирование свежих выжимок;
3. обработка полученных выжимок электроактивированным в катодной камере электролизера раствором вышеуказанной соли, имеющей pH 8,2 и Eh=-0,52 В в количестве 10 % к массе выжимок при температуре 50°C в течение 60 с в реакторе-смесителе;
4. нагрев смеси в течение 3—5 минут до 65—70°C;
5. центрифугирование (декантирование) экстракта в горизонтальной шнековой центрифуге в течение 5 с при величине фактора разделения 300 в целях удаления ВКД с размерами свыше 0,2 мм;
6. концентрирование осветленного пектинового экстракта в вакуум-аппаратах при температуре 85—90°C с получением пектинового концентрата.

С целью получения пектинового порошка последний этап переработки может быть замещен процессом сушки в установке распыли-

тельного типа. В данных установках высокая интенсивность испарения влаги достигается за счет тонкого распыления высушиваемого продукта в сушильной камере, через которую движется воздушный сушильный агент. При этом поверхность контакта настолько велика, что процесс высушивания длится всего от 4 до 15 секунд. Это обстоятельство позволяет получить качественный порошкообразный продукт, хорошо растворимый и не требующий дальнейшего измельчения.

В предложенной схеме использован экстракционная установка, предназначенная для получения низкоэтерифицированного пектинового экстракта.

Разработанная установка представляет собой наклонный цилиндрический корпус, установленный на постаменте под наклоном. Внутри корпуса расположен транспортирующий шнек. С торцов корпуса установлены приводы шнека. В нижней части корпуса имеются загрузочная горловина и ситовый пояс для отбора экстракта. В верхней части корпуса расположены трубопроводы подачи питательной воды и разгрузочное устройство. По верху корпуса расположены для осмотра люки.

Работа данного аппарата осуществляется следующим образом.

Свежие яблочные выжимки через загрузочную горловину поступают в нижнюю часть аппарата. Шнек захватывает продукт и перемещают вдоль корпуса к разгрузочному устройству. Навстречу выжимкам по уклону движется подготовленный экстрагент в смеси с возвращенной прессовой фракцией, подаваемой в аппарат в зону разгрузочного устройства.

Экстрактивные, ароматические, пектиносодержащие и другие вещества диффундирует из выжимок в экстракт, который постепенно обогащаясь, в виде экстракта стекает в нижнюю часть аппарата и удаляется из него через ситовый пояс на дальнейшее производство. Отработанные выжимки через секцию выгрузки разгрузочным устройством удаляется из аппарата.

Предложенная схема получения пектинового концентрата доступна в использовании на типовом соковом производстве и не требует применения спирта и кислот.

### **Список литературы:**

1. Полегаев В. И., Широков Е. П. Хранение и переработка плодов и овощей. — М.: Агропромиздат, 2006. — 302 с.
2. Самсонова А.Н., Ушева В.Б. Фруктовые и овощные соки. Техника и технология. — М.: Агропромиздат, 1990. — 276 с.

## СЕКЦИЯ 8.

### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА

#### НЕЛИНЕЙНЫЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

*Андреева Анастасия Викторовна*  
старший преподаватель кафедры медицинской физики, ГБОУ  
ВПО УГМА, г. Екатеринбург  
E-mail: [anastasiia.andreeva@gmail.com](mailto:anastasiia.andreeva@gmail.com)

*Галишников Роман Михайлович*  
студент института математики и компьютерных наук, УрФУ  
E-mail: [me@rgalishnikov.ru](mailto:me@rgalishnikov.ru)

#### NON-LINEAR APPROACH TO PROCESSING OF BIOELECTRICAL SIGNALS

*Anastasiya Andreeva*  
Assistant professor of physics, Department of medical physics and  
bioengineering, Ural State Medical Academy, Yekaterinburg, Russia

*Roman Galishnikov*  
Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences Ural  
Federal University

#### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена обработке временных рядов биоэлектрических сигналов на основе методов нелинейной динамики. Представлен программный продукт для анализа экспериментальных данных медико-биологических объектов. Рассмотрено применение программы для анализа электромиографического сигнала поверхностного потенциала поперечнополосатой мускулатуры человека.

#### ABSTRACT

The work is aimed to processing of bioelectrical signals' time series based on methods of non-linear time course. There is a program product

given for analysis of experimental data of medicobiologic objects. The program use for analyzing electromyographic signal of human somatic musculature scanning surface has been examined.

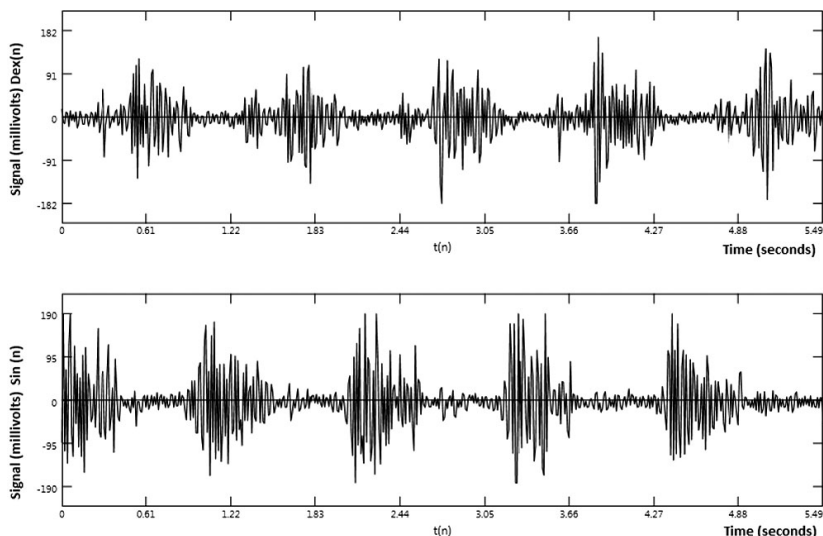
**Ключевые слова:** нелинейная динамика; детерминированный хаос; показатель Ляпунова; время забывания начальных условий; фазовый и псевдофазовый портреты; энтропия Колмогорова; обработка ЭМГ.

**Keywords:** non-linear dynamics; deterministic chaos; Lyapunov exponents; the time of initial conditions forgetting; phase and pseudo-phase portraits; Kolmogorov entropy; processing EMGs.

В последнее время использование методов нелинейной динамики для обработки биоэлектрических сигналов (электромиограмм, электроэнцефалограмм, электрокардиограмм) в рамках теории сложных систем рассматривается как перспективный путь создания новых средств компьютерной диагностики сигнала и прогнозирования состояния медико-биологических объектов. Данный подход является существенным дополнением к традиционным методам, которые не дают возможности детально проследить и численно охарактеризовать динамику изменений структуры сигнала во времени. Биомедицинские сигналы на основе электрофизиологических исследований имеют необычайно сложные характеристики, напоминающие по своей природе хаотический процесс, значимость которых для получения наиболее полной медико-биологической информации пока не ясна.

С внедрением в научно-практическую деятельность методов цифровой обработки сигналов и компьютерного анализа появляется качественно новый подход, позволяющий расширить диагностические возможности оценки электрофизиологической информации. Предварительные результаты работы по анализу сигналов электромиограмм (ЭМГ), показали высокую эффективность использования методов нелинейной динамики для прогнозирования патологических изменений в опорно-двигательной системе человека. Принципиальное отличие предлагаемой разработки от уже известных заключается в применении наукоемких подходов обработки электрофизиологической информации на основе методов нелинейной динамики и теории детерминированного хаоса [1, 4]. В данной работе рассматривается естественное возбуждение и сокращение мышц в двигательном акте и при выполнении функциональных проб как сложный динамический процесс. Основываясь на рис. 1, нами была выдвинута гипотеза, что естественное возбуждение и сокращение мышц во время двигательного акта, в том числе и у здорового человека, проявляет черты детерминированного хаоса [4]. Результаты дальнейшего анализа показали, что значения

характеристик хаотичности, полученных для больных и здоровых пациентов, оказываются различными.



***Рисунок 1. Пример измерения параметров поверхностного потенциала одноименных мышц человека правой и левой ног.***

Цель работы состояла в разработке программного продукта для обработки временных рядов на основе методов анализа сложных нелинейных динамических систем и идентификации хаотического процесса.

Программа реализована на языке C#, целевая платформа .NET Framework 4. Минимальные рекомендуемые системные требования совпадают с таковыми для клиентского профиля .NET 4. Исследователю предлагается загрузить файл с исходными данными временного ряда, произвести необходимые настройки и оценить полученные данные по вышеперечисленным методам.

Для построения графического интерфейса использовалась система Windows Presentation Foundation. Можно отметить следующие особенности этой системы: векторная система визуализации, не зависящая от разрешения и созданная с расчетом на возможности современного графического оборудования; использование DirectX для ускорения графики, за счет чего достигается увеличение производительности по сравнению с GDI/GDI+; интерфейс программы основан на системе вкладок (TabControl) каждая из которых предоставляет доступ к результатам обработки по каждому методу, или же вводу данных и настройкам алгоритмов.

Поскольку в программе обрабатывается одновременно 2 независимых временных ряда, выполнение разделено на 2 потока для увеличения производительности. В большинстве затратных по времени алгоритмах применена дополнительная параллельность. Во время тестирования это показало высокую эффективность, при увеличении исполняющих ядер от 1 до 4 общая производительность увеличивается в 3.5 раза. Для реализации параллелизма использовались новые возможности .NET Framework 4: Parallel Task Library, такие как Task, PLINQ, Parallel.For. При обработке типичных данных длиной в 600 отсчетов на системе с процессором Intel Core i5 2500 программа работает не более 20 мсек и использует около 30 Мб оперативной памяти.

При разработке программного продукта в качестве исходных данных использовались классические хаотические системы малой размерности: система Энона, система Лоренца, система Ресслера (в качестве тестовых систем), а также экспериментальные данные ЭМГ исследования естественного возбуждения и сокращения мышц нижних конечностей во время двигательного акта.

В программном продукте были реализованы следующие способы и методы анализа нелинейных систем: метод псевдофазовых и фазовых портретов, расчет показателей Ляпунова и определение времени забывания начальных условий, оценка энтропии Колмогорова, расчет показателя Херста, спектральный анализ.

В связи с тем, что хаотичность является следствием неустойчивости фазовых траекторий, так что близкие в фазовом пространстве интегральные кривые с течением времени расходятся [3], то представляется вполне естественным в качестве одного из таких критериев выбирать именно меру разбегания фазовых кривых динамической системы. Характеристикой такого расхождения является положительный показатель Ляпунова  $\lambda_p$ , тогда расстояние между траекториями:  $\varepsilon(t) \cong \varepsilon(t_0)e^{\lambda_p \Delta t}$ .

Время забывания начальных условий — это время, за которое система полностью забывает свои начальные условия. Оно является характеристикой памяти системы. Точное предсказание состояний нелинейной системы возможно только на интервале времени  $t_r$ . Для определения периода корректного прогноза хаотического ряда (время забывания начальных условий) использовали выражение:

$$t_r = \frac{1}{K} \ln \frac{\delta}{\mu_0},$$

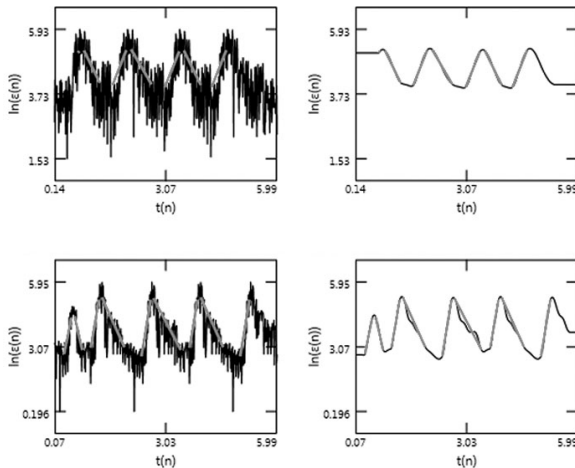
где:  $K$  — энтропия Колмогорова, пропорциональная скорости потери информации о состоянии системы с течением времени, является мерой экспоненциальной скорости разбегания траекторий динамической системы;



$\delta$  — среднее значение флуктуаций при  $t \geq t_r$  [2].

Для отображений  $K_0 = \lambda$  (энтропия Колмогорова равна положительным значениям показателя Ляпунова). Если энтропия  $K > 0$ , то движение неустойчиво хаотическое, при  $K = 0$  движение регулярно. Для независимых стохастических процессов  $K \rightarrow \infty$ . Отметим, что последнее очень важно в анализе классификации различных патологий. Поэтому в задачу данной работы входило определение энтропии Колмогорова, как функции показателей Ляпунова для различных групп пациентов.

Прежде чем применить все вышеуказанные методы вычисления данных параметров биофизической системы необходимо иметь готовую модель или знать уравнения эволюции системы. Но чаще для экспериментальных данных (временных рядов) биологического объекта эти уравнения неизвестны. Известны методы численной оценки старшего показателя Ляпунова, которые не требуют знания уравнений эволюции системы, основанные только на обработке наблюдаемых реализаций [3]. Однако это требует огромных объемов исходных наблюдений, которыми чаще всего исследователь не обладает. Особенностью предложенного синтеза методов нелинейной динамики является минимальный объем исходной выборки временного ряда, в сравнении с другими методами и простота обработки сигнала. На визуализации (Рис. 2) отображаются графики функции расходимости в логарифмическом масштабе до сглаживания и после с наложенными на них отрезками возрастания/убывания на найденных интервалах.



**Рисунок 2. Отображение графиков функции расходимости**

Проведя анализ временного ряда экспериментальных данных и идентификацию хаотического процесса, значения характеристик хаотичности для групп больных и здоровых пациентов оказались различными. Анализируя значения спектра Ляпунова (экспоненты Ляпунова) был выделен интервал соответствующий «норме»  $\lambda \approx (5.2 \div 13.7)$ , разброс которого обусловлен привычным стереотипом ходьбы и варьированием позовых характеристик человека, а также четко выражены патологические изменения нервно — мышечной системы при  $\lambda \approx 0.8 \div 5.1$  и  $\lambda > 13.8$ . При  $\lambda \rightarrow \infty$  (энтропия Колмогорова  $K \rightarrow \infty$ ) имеем стохастический процесс мышечной активности, когда все двигательные акты нескоррелированы во времени. Характерно, что движение без патологий неустойчиво хаотическое, энтропия  $K \approx 8.1 \div 23.8$ . Значения показателя Хёрста в «норме» колеблется в интервале  $0.35 \div 0.5$  переходя в случайный процесс. Границы данных интервалов в последующем будут уточняться с расширением базы диагностических данных ЭМГ сигнала.

Предложенный программный продукт для обработки временных рядов биоэлектрических сигналов, таких как электромиограмма, электроэнцефалограмма, электрокардиограмма, позволяет эффективно использовать его как количественную характеристику с целью идентификации состояния медико-биологического объекта.

### Список литературы:

1. Андреева А.В., Галишников Р.М. Интеллектуальная обработка электромиографического сигнала на основе методов нелинейной динамики // Сборник материалов V Троицкой конференции «Медицинская физика и инновации в медицине», т. 1, Троицк, 2012, С. 70—72
2. Быстрой Г.П. Термодинамика неравновесных процессов в открытых нелинейных физико-химических системах с детерминированным хаосом дис. д-ра физ.-мат. наук : Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького — Екатеринбург, 2009.
3. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Основы теории сложных систем. — М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. — 620 с.
4. Bystrai G.P., Boginich A.V. (Andreeva A.V.), Shklyar T.F.. The chaotic dynamics of the human skeletal muscles surface potential in electromyography, Biophysics. 2007. Vol.5 2, № 6, p. 1093—1103.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ**

***Еськов Александр Васильевич***

*д-р техн. наук, доцент АлтГТУ, г. Барнаул*

*E-mail: [alesc72@mail.ru](mailto:alesc72@mail.ru)*

***Маецкий Александр Владимирович***

*аспирант, АлтГТУ, г. Барнаул*

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

***Яковлев Сергей Валентинович***

*аспирант АлтГТУ, г. Барнаул*

*E-mail: [etaenu@pise.net](mailto:etaenu@pise.net)*

**EXPERIMENTAL DATA OF OPTICAL CONTROL OF FUEL  
DISPERSION QUALITY WITH HIGH-SPEED VIDEO  
FILMING USE**

***Alexander Eskov***

*Doctor of Science. Technical., Associate Professor of  
Altai State Technical University after I.I. Polzunov, Barnaul*

***Alexander Maetsky***

*Graduate student of Altai State Technical University after  
I.I. Polzunov, Barnaul*

***Sergey Jakovlev***

*Graduate student of Altai State Technical University after  
I.I. Polzunov, Barnaul*

**АННОТАЦИЯ**

Пояснено, что понимается под качеством распыливания в научной литературе. Отмечено, чем вызвана оптическая неоднородность топливных струй и показано, как изменяются площади яркостных зон струи во времени. Обозначены перспективы дальнейшего развития и применения описанного средства контроля качества распыливания.

## ABSTRACT

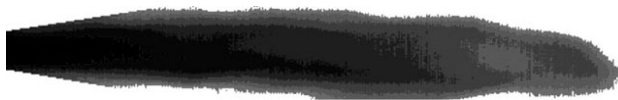
It is explained that is understood as quality of fuel dispersion in the scientific literature. It is noted, than optical heterogeneity of fuel jets is caused and is shown, how the areas of brightness jet zones in time. Prospects of the further development and application of the described control device are designated.

**Ключевые слова:** качество распыливания; оптическая неоднородность; обработка изображений.

**Keywords:** quality of fuel dispersion; optical heterogeneity; image processing.

Качество распыливания топлива дизельной форсункой определяется мелкостью и однородностью его дисперсии (распределением капель по размерам), а также равномерностью распределения капель топлива в объеме струи [3, с. 143]. Изучение распыливания топлива представляет собой важную научную задачу, т. к. от качества процесса распыливания топлива зависит последующее сгорание рабочей смеси, а значит выходные характеристики двигателя в целом: экономичность, экологичность, мощность и другие.

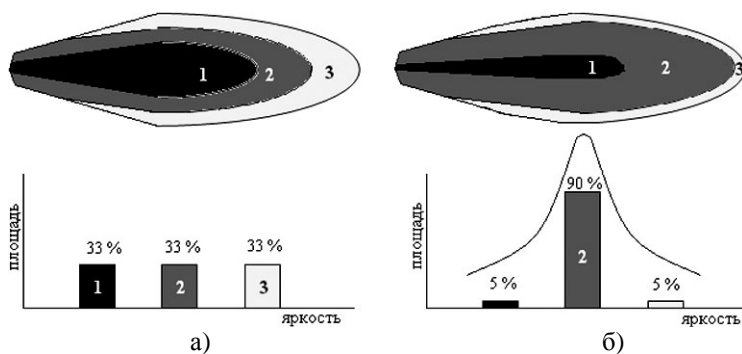
Согласно общепринятому идеализированному описанию струи топлива, она имеет конусообразный вид и в центральной своей части более плотная, чем на периферии [3, с. 143]. Пример реальной струи топлива продемонстрирован на рисунке 1. Так, в центральной части и основании она более тёмная, на периферии и переднем фронте — более светлая. Оптическая неоднородность струи вызвана истинной неоднородностью распыливания и неравномерным распределением капель топлива в пространстве. При прохождении светового излучения через распыленную струю, в результате уменьшения светового потока, прошедшего в зонах с высокой концентрацией капель топлива, область этой зоны на изображении будет соответствовать меньшей яркости (тёмным оттенкам), и наоборот.



*Рис. 1. Визуализация оптической неоднородности реальной струи*

Когда струя топлива равномерно заполнена каплями, то на изображении она будет окрашена приблизительно в один цвет. И напротив, неоднородное окрашивание струи будет соответствовать неравномерному заполнению её каплями. На рисунке 2 приведены два варианта идеализированной топливной струи, разбитой на три

яркостных зоны, с гистограммами площадей яркостных зон. На рисунке 2,а площади трех яркостных зон одинаковы, на рисунке 2,б — 90 % струи занимает яркостная зона № 2. На наш взгляд, более равномерно распыленная, а значит, более качественная струя — это струя, изображенная на рисунке 2,б. В ней существует участок с плотной концентрацией капель (зона № 1) и участок с разреженной концентрацией капель (зона № 3), но большая часть струи окрашена в один цвет, что и соответствует более равномерному распыливанию по сравнению с рисунком 2,а. Таким образом, более качественно распыленная струя топлива имеет гистограмму распределения яркостей, соответствующую закону нормального распределения, и чем больше такое соответствие, тем лучше качество распыливания.



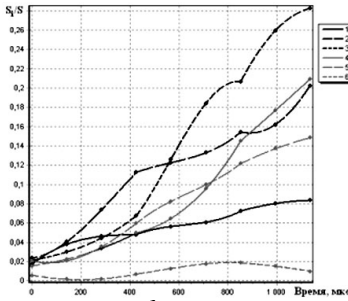
**Рис. 2. Оптическая неоднородность идеализированных струй**

Средняя яркость топливной струи на изображении будет увеличиваться со временем. Это вызвано тем, что в начальный момент времени струя имеет малую площадь, затем с течением времени площадь струи увеличивается, а т.к. цикловая порция топлива постоянна, то с увеличением площади струи уменьшается концентрация топлива, что будет соответствовать более высокой яркости на изображении.

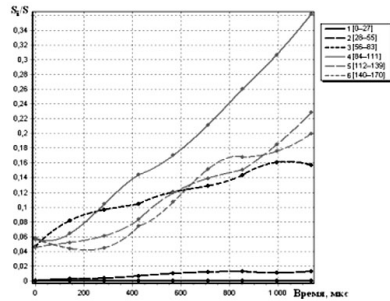
В АлтГТУ на кафедре экспериментальной физики было разработано программно-техническое средство контроля качества распыливания топлива на базе скоростной видеокамеры «ВидеоСпринт» производства ЗАО «НПК Видеоскан» [1]. Данное средство позволяет обрабатывать кадры видео и строить гистограммы и графики изменения площадей яркостных зон струи (оптических неоднородностей) во времени.

Для апробации средства были проведены эксперименты с использованием двух видов топлив (рапсовое масло при двух температурах и дизельное топливо) и двух частотах оборотов двигателя

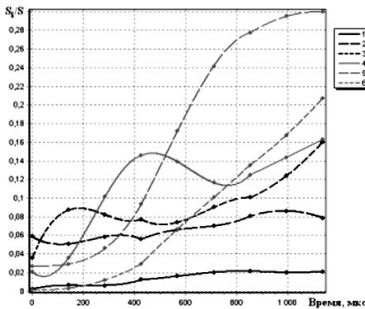
при давлении впрыскивания 60 МПа и с частотой съемки 7042 кадра в секунду. Результаты экспериментов представлены на рисунках 3 и 4.



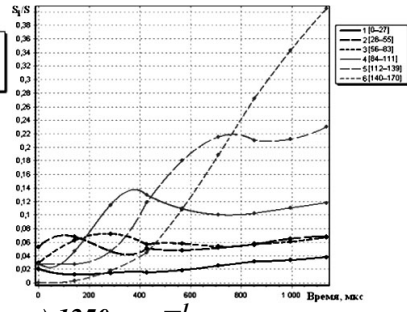
**а) 1750 мин<sup>-1</sup>, дизельное топливо, 26°C**



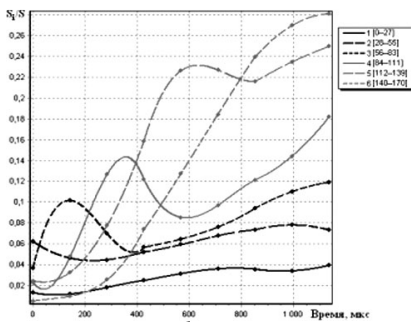
**б) 1250 мин<sup>-1</sup>, дизельное топливо, 26°C**



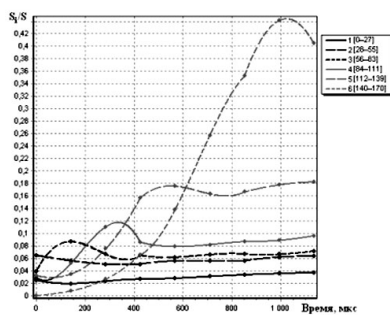
**в) 1750 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 26°C**



**г) 1250 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 26°C**

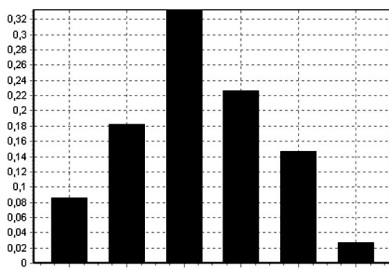


**д) 1750 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 65°C**

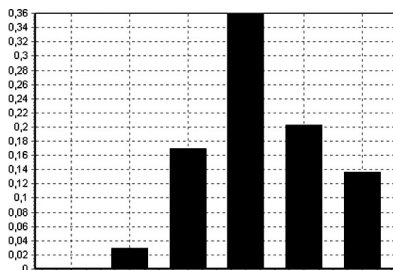


**е) 1250 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 65°C**

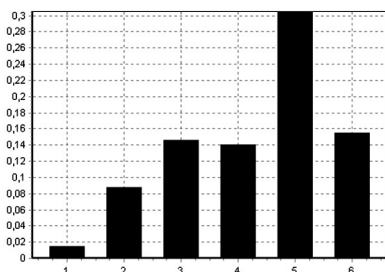
**Рисунок 3. Динамика изменения во времени оптической неоднородности струи**



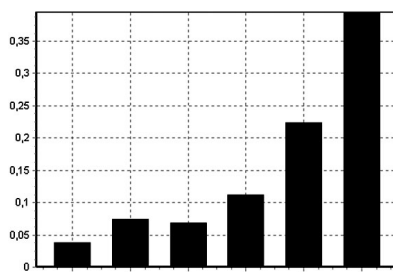
*а) 1750 мин<sup>-1</sup>, дизельное топливо, 26°C*



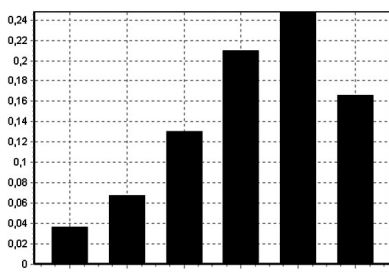
*б) 1250 мин<sup>-1</sup>, дизельное топливо, 26°C*



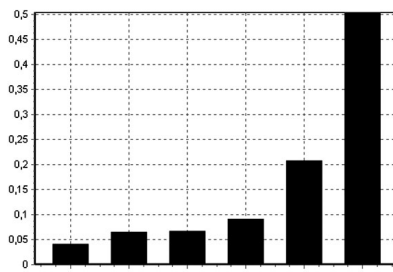
*в) 1750 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 26°C*



*г) 1250 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 26°C*



*д) 1750 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 65°C*



*е) 1250 мин<sup>-1</sup>, рапсовое масло, 65°C*

**Рисунок 4. Гистограмма площадей яркостных зон в момент времени 1,136 мс**

На рисунке 3 линии характеризуют изменение во времени площадей шести яркостных зон в диапазоне яркостей от 0 до 170 градаций АЦП. По оси ординат на рисунках 3 и 4 приведены площади яркостных зон, нормированные к общей максимальной площади струи.

Так, сравнивая графики на рисунках 3,а и 3,в можно заметить, что при распыливании дизельного топлива в связи с увеличением площади всей струи увеличиваются площади всех яркостных ее зон (кроме самой яркой зоны, которая остается относительно неизменной), а при распыливании рапсового масла площади яркостных зон изменяются неодинаково. Для рапсового масла можно отметить относительную неизменность площадей темных яркостных зон №№ 1—3 и значительную динамику площадей светлых яркостных зон № 4—6, что свидетельствует о худшем качестве распыливания, в сравнении с дизельным топливом. Из графика 3,в видно, что с развитием струи во времени площадь участков струи с разреженной концентрацией капель возрастает, а площадь участков струи с плотной концентрацией капель относительно общей площади струи — убывает, т. е. имеет место значительная неравномерность распределения капель в струе топлива. Более худшее распыливание рапсового масла в сравнении с дизельным топливом при прочих равных условиях можно также увидеть, сравнивая гистограммы 4,а и 4,в. Так, гистограмма 4,а больше соответствует нормальному закону распределения, чем гистограмма 4,в.

Результаты экспериментов сводятся к следующему: 1) рапсовое масло при прочих равных условиях распыливается хуже дизельного топлива; 2) увеличение оборотов двигателя способствует улучшению качества распыливания для обоих видов топлив; 3) нагревание рапсового масла в сопряжении с повышением оборотов двигателя способствует улучшению качества распыливания. Полученные результаты согласуются с литературными данными ([2, с. 43—47], [3, с. 146—148]).

Разработанное средство может служить для контроля качества распыливания различных видов топлив различными топливными распылителями при различных условиях впрыскивания. Работы по совершенствованию средства контроля продолжаются. В частности, авторы считают возможным установление коэффициентов оптической неоднородности и корреляций качества распыливания с другими показателями двигателя.

### **Список литературы:**

1. Камера скоростной видеосъемки «ВидеоСпринт» // Видеоскан [Электронный ресурс]: [сайт] / ЗАО НПК «Видеоскан». Электрон. дан. — М., 2012. — Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>. — Загл. с экрана.
2. Кутовой, В.А. Впрыск топлива в дизелях / В.А. Кутовой. — М.: Машиностроение, 1981. — 120 с.
3. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов : учебник / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — 344 с.



## **СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

*Заец Сергей Сергеевич*

*ассистент, Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», Украина, г. Киев  
E-mail: [zss\\_vp@bigmir.net](mailto:zss_vp@bigmir.net)*

*Еськин Максим Сергеевич*

*студент, Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», Украина, г. Киев  
E-mail: [yeskin\\_maksym@ukr.net](mailto:yeskin_maksym@ukr.net)*

## **SYSTEM OF PROGNOSTICATION OF THE PROCESS STATE OF TOOLING**

*Serg Zaeyts*

*Assistant, National technical university of Ukraine «Kyiv  
polytechnical institute», Kyiv, Ukraine*

*Maksim Eskin*

*Student, National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnical  
institute», Kyiv, Ukraine*

### **АННОТАЦИЯ**

Рассмотрена эффективность применения методики диагностирования многоцелевых станков, при обработке корпусных деталей приборов, с учетом прогнозирования достоверности перед аварийного или аварийного состояния. И предложена система прогнозирования состояния процесса механической обработки для, увеличения эффективности использования многоцелевых станков.

### **ABSTRACT**

Considered efficiency of application of method of diagnosticating of workcenters, at treatment of cabinet-type details of devices, taking into account prognostication of authenticity before the emergency or emergency state. But the offered system of prognostication of the process state of tooling for, increase of efficiency of the use of workcenters.

**Ключевые слова:** многоцелевой станок; система прогнозирования.

**Keywords:** workcenter; system of prognostication.

## **Вступление**

На современном этапе развития приборостроения для изготовления сложных деталей используется многофункциональное оборудование в виде станков с числовым программным управлением - ЧПК, обрабатывающих центров. Они имеют весьма большими возможностями по обработке сложных по конструкции деталей, со многими режущими инструментами, в автоматическом режиме без вмешательства рабочих [4].

Многофункциональные станки являются ценными, но имеет значительный недостаток в том, что оно не реагирует на состояние протекания самого процесса механической обработки, не имеет обратной связи технического стану процессом механической обработки, его безотказностью. Это часто приводит к отказам в производстве и аварийных ситуаций на станках.

Во избежание возникновения отказов и для повышения качества изготовления деталей предлагается система прогнозирования состояния процесса механической обработки, которая за счет мониторинга процесса, в реальном времени, следит за техническим состоянием механической обработки деталей, на многоцелевых станках, по результатам которой, и делается прогнозирование достоверности отказа оборудования или инструмента.

### **1. Постановка задачи**

Для многоцелевых станков при оценке их качества работы основную роль исполняют показатели, что связанные с точностью обработки, волнистостью, и шероховатостью поверхностей, обрабатываемых деталей.

Точность станка непосредственно связанная и с основным его показателем — производительностью. Чем больше есть запас по жесткости, тем высшие режимы обработки можно применять на станке, соответственно может быть достигнуто высший уровень производительности.

Для выбора информативных методов диагностирования процессов обработки обосновано использования информационных технологий, которые решают вопрос идентификации дефектов и прогноза их развития на базе не разрушающих методов контроля и функционального диагностирования. Среди информационных технологий функциональной диагностики процессов резания подавляющими являются те, которые строятся на измерении величины сигналов в контрольных точках, и сравнении их с предельными значениями; на частотных технологиях выделения из измеряемого сигнала составляющих в определенных частотных диапазонах и

последующий энергетический анализ выделенных составляющих; на спектральных технологиях, которые основаны на узко полосном спектральном анализе сигналов.

Среди методов диагностирования состояния процесса механической обработки, наиболее соответствующими являются методы диагностирования и прогнозирования за измерениями акустического сигнала из зоны обработки [1]. Большинство дефектов начинают влиять на акустический сигнал предварительно к наступлению перед аварийной ситуации. Они могут оказаться на любом этапе жизненного цикла процесса механической обработки детали, и за короткий срок развиться к аварийно опасным значениям.

Для решения вопросов предупреждения, перед аварийных и аварийных состояний, предлагается применять систему прогнозирования, на основе диагностических данных, полученных в реальном времени мониторинга процесса механической обработки на многоцелевом станке.

## **2. Основные материалы и результаты**

Эффективность применения данных для прогнозирования, зависит от достоверности полученных результатов, защищенности от препятствий, и стойкости примененных алгоритмов к изменению отдельных ситуаций в пространстве возможных состояний механического процесса обработки.

В этой связи задачу обработки данных целесообразно сформировать как задачу распознавания образов. При этом, с точки зрения простоты технической реализации, преимущество отдается детерминированному решению. Аппаратурная реализация данных алгоритмов, как и алгоритмов статистических решений, в значительной степени определяется формой представленных параметров (признаков), по которым ведется распознавание.

Процесс механической обработки, как объект контроля, разделяется на ряд функционально не связанных между собой блоков или блоков, функциональными связками которых с достаточной для практики точностью можно пренебречь, тогда является эффективным применение матричного принципа представления пространственного состояния [2].

Матричный метод распознавания в большинстве случаев применяется для диагностирования процессов, и объектов контроля, работоспособность которых с необходимой точностью может быть определена функцией изменения одного из наиболее информативных параметров во времени, или объектов, для оценки работоспособности которых необходимо параллельный съем информации по нескольким

параметрам в строго фиксированный момент времени. В данном случае состояние процесса механической обработки описывается системой матриц с числом строк  $n_1$ , равным соответственно числу уровней квантования значений амплитуды аналогового сигнала, что снимается из одного датчика системы диагностирования, или числу одновременно фиксированных параметров. Соответственно число столбцов  $n_2$  таких матриц принимается равным числу точек квантования аналогового сигнала по времени, что отвечает одному обороту шпинделя станку или числу фиксированных моментов времени параллельного съема информации из нескольких датчиков диагностирования процесса механической обработки.

Рассмотрим процедуру распознавания состояния процесса механической обработки, соответственно каждое из состояний процесса характеризуется некоторой функциональной кривой, что представляет собой графическое изображение, что непрерывно изменяется по времени уровня напряжения, что снимается из датчика диагностирования состояния механической системы обработки на коротком интервале времени  $T$ .

Соответственно за  $n$  принимается суммарное число классов состояний, которые подлежат распознаванию, один из которых характерен для работоспособного состояния процесса, а все другие для процесса, что потерял работоспособность из-за возникновения в нем определенного вида неисправностей, то в общем случае процесс распознавания соответствующего состояния процесса механической обработки будет представлен в виде сравнения фактических результатов функции с каждой из ее эталонных реализаций и процесса нахождения значения функции.

$$\varphi_n = \int_0^T \left| \frac{f_1(t_1)}{f_n(t_1)} - \frac{\int_0^T f_1(t) dt}{\int_0^T f_n(t) dt} \right| dt_1 \quad (1)$$

где  $t$  — независимая переменная;

$f_{1(t)}$  — функция, что характеризует распознавание состояния процесса механической обработки;

$f_n(t)$  — функция, которая описывает  $n$  классов состояния процесса механической обработки принятых эталоном;

$t_1$  — константа, которая записана в виде переменной и указывает на то, что отношение высчитано в определенной момент времени как для  $f_1(t)$  так и для  $f_n(t)$ ;

$T$  — интервал времени, что равняется одному обороту шпинделя станка, за который происходит вычет функционалу

$\varphi_n$  для каждого из  $n$  классов состояния. Величина функции  $\varphi_n$  является мерой того, что роднит функции, что распознается с одной из  $n$  ее реализаций. Состояние, что распознается приписывается до того из  $n$  классов состояния, для которого абсолютное значение данного функционалу является минимальным.

Для процесса механической обработки, что имеет дискретный исходный сигнал, предыдущий функционал будет представлен в вид

$$\varphi_n^* = \sum_{i=1}^{n_2} \left| \frac{(U_{ij})_p}{(U_{il})_э} - \sum_{i=1}^{n_2} \frac{(U_{ij})_p}{mn_2} \right| \quad (2)$$

где  $n_2$  — число выборок функции, что распознается в интервале от 0 к  $T$  с дискретностью по времени  $T/n_2$ ;

$m$  — средняя величина сигнала по всем  $n_2$  выборкам;

$(U_{ij})_p$  — значение  $i$ -й выборки  $j$ -й функции, что характеризует распознанное состояние процесса механической обработки

$(U_{il})_э$  — значение  $i$ -й выборки  $l$ -й эталонной функции, что характеризует  $l$ -й из  $n$  классов состояния процесса механической обработки, принятых за эталон [3].

Дано правило, что следует из выражения 2, исследуется, на распознавании состояния процесса механической обработки, что характеризуется функциональной кривой  $A$ , которая приведена на рис. 1 а. На рисунке изображена также кривая  $B$ , что отвечает состоянию принятому за эталон. Для удобства считаем, что предыдущие исходные цепи обеспечивают квантование сигнала, который описывается функцией кривой по амплитуде на 8 уровней ( $n_1=8$ ). На рис. 1 а эти уровни отражаются цифрами от 0 до VIII, что размещении с левая от оси ординат в порядке увеличения амплитуды, и отмеченные горизонтальными штрихуемыми линиями, которые делят веке ординат (область амплитуд сигнала) на восемь равных частей.

Для определенности считаем, что измерение ординат функциональных кривых  $A$  и  $B$  происходит в 20 точках ( $i=1,2,..,20$ ). При этом, если, амплитуда сигнала в данной точке измерения кривой  $A$  есть в области, обозначенной на рис. 1 а цифрой IV, то на рис. 1 бы под этой точкой проводится вертикальная линия, длина которой принимается равной четырем единицам. Совокупность амплитуд вертикальных линий, которые изображены на рис. 1 бы, представляют собой совокупность значений  $(U_{ij})_г$ . Соответственно совокупность амплитуд вертикальных линий, приведенных на рис. 1 в, является графическим отображением значений  $(U_{il})_э$  функциональной кривой  $B$ .

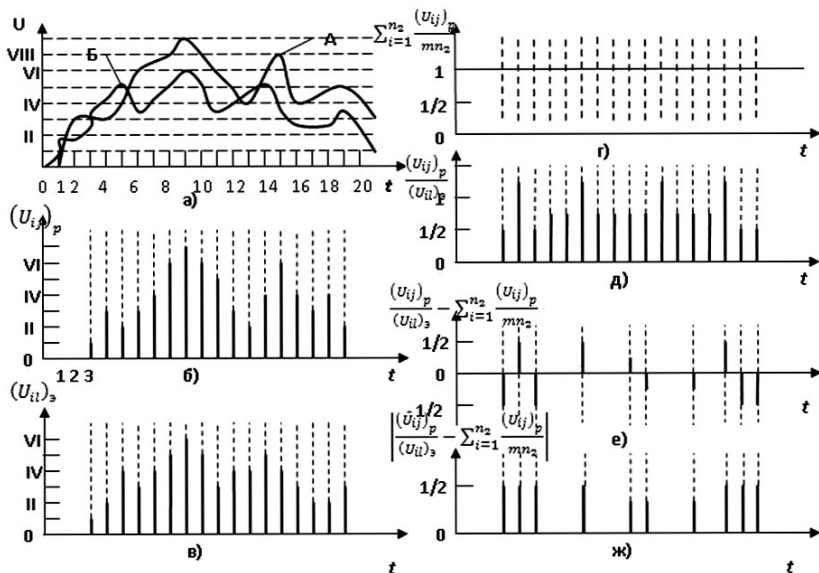


Рис. 1 Графическое изображение распознанного, эталонного сигналов и компонент функционалу  $\varphi_n^*$

При  $j=l=1$  каждый член  $\frac{(U_{ij})_P}{(U_{il})_Э}$  выражения (2) будет представлять собой единицу. Выражение  $mn_2$  избрано с таким расчетом, чтобы получить значение,  $\sum_{i=1}^{n_2} \frac{(U_{ij})_P}{mn_2}$  равное единице при падении сигнала что распознается с эталонным. В данном случае при  $n_2=20 \sum_{i=1}^{n_2} (U_{ij})_P = 63$  (см. рис. 1 б) и соответственно,  $mn_2$  необходимо принять равным 63. Таким образом, при полном распознавании функции с эталоном будет выполненное условие  $\varphi_n^*=0$

Эффективность использования  $\varphi_n^*$  для оценки степени соответствия функции, что распознается эталонному значению, показанная на рис. 1 а функциональные кривые Но и Бы подобранные так, чтобы они имеют одинаковую среднюю величину, при которые  $mn_2=63$ . При этом, как показано на рис. 1, г,  $\sum_{i=1}^{20} \frac{(U_{ij})_P}{mn_2} = 1$ .

На рис. 1 д) приведено отношение функциональных кривых А и Б по каждой и точек измерения, а на рис. 1, е - результаты вычисления разности  $\frac{(U_{ij})_P}{(U_{ij})_Э} - \sum_{i=1}^{n_2} \frac{(U_{ij})_P}{mn_2}$

Из выражения 2 видно, что все члены указанной разности должны добавляться по абсолютной величине. Потому все амплитуды, которые имеют отрицательный знак инвертируются и представляются в виде, который изображен на рис. 1, ж. Таким образом, при все других равных условиях произведение абсолютных значений амплитуд позволяет значительно увеличить величину функционалу  $\Phi_n^*$  и, соответственно, повысить достоверность результатов распознавания.

### **Выводы**

Проводя диагностирование механического процесса обработки на многоцелевом станке, в реальном времени, и проводя процесс распознавания сигнала с эталонным значением, получаем четкую картину состояния протекания процесса, при изменении показателей, которого можем говорить о приближении к перед аварийного или аварийного состояний.

### **Список литературы:**

1. А. С. 793723 СССР М. Клз. В23В 25/06 Способ контроля процесса резания.
2. Трахтман В. Ю. Матричный метод опознавания образов и некоторые вопросы построения эталонов — В кн.: «Самообучающиеся автоматические системы». М., «Наука», 1966. С. 53—59.
3. Шибанов Г.П. Распознавание в системах автоконтроля. Москва «Машиностроение», 1973. С. 289—304.
4. Эпштейн В.М., Мановицкий А.С. Алмазное точение труднообрабатываемых силуминовых сплавов — Киев: Знання. 1989. — 26 с.

# АМПЛИТУДНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

*Патрушева Татьяна Васильевна*

*ст. преподаватель, АлтГТУ, г. Барнаул*

*E-mail: [attractor13@gmail.com](mailto:attractor13@gmail.com)*

*Патрушев Егор Михайлович*

*канд. техн. наук, доцент АлтГТУ, г. Барнаул*

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

## AMPLITUDE MEASUREMENT CONVERTER BASED ON CHAOTIC OSCILLATOR

*Tatiana Patrusheva*

*Sr. lecturer of Altai State Technical University, Barnaul*

*Egor Patrushev*

*Cand. Technical, Associate Professor of Altai State Technical  
University, Barnaul*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается способ обнаружения слабых периодических сигналов с использованием генератора хаоса. Предлагается слабый на фоне шумов сигнал подавать в цепь неавтономного генератора хаоса, работающего на границе периодического и хаотического режимов. Предложенный способ апробирован на лабораторном макете.

### ABSTRACT

This article discusses a way to detect weak periodic signals using a chaotic oscillator. Proposed that the weak periodic signal is submitted to the chain of non-autonomous chaotic oscillator, operating at the boundary of periodic and chaotic steady-states. The proposed method was tested on laboratory layout.

**Ключевые слова:** обнаружение слабых сигналов; детерминированный хаос; бифуркации.

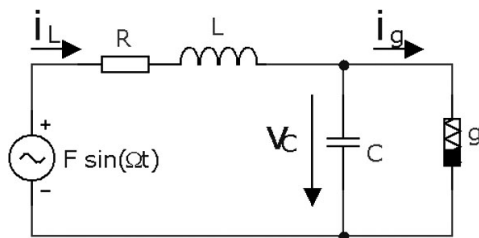
**Keywords:** weak signal recognition; deterministic chaos; bifurcations.



В последнее десятилетие одним из направлений в области теории хаоса является использование хаотических колебательных систем для обнаружения слабых сигналов на фоне существенно преобладающих шумов. Имеющиеся в данный момент исследования базируются на следующей концепции: основным пороговым измерительным преобразователем является генератор хаоса, начальные параметры которого подобраны таким образом, чтобы состояние движения системы находилось как можно ближе к границе между хаотическим и периодическими режимами. Сигнал, требующий исследования на присутствие в нем периодических составляющих известной частоты, подается в генератор хаоса. Обнаружение сводится к определению типа движения генератора хаоса — в присутствии обнаруживаемого сигнала движение становится периодическим, иначе — хаотическим. Обнаружение слабого сигнала возможно в присутствии шумов, так, например, амплитудный способ введения сигнала [2,4] позволяет обнаруживать сигналы при  $SNR=-28$ дБ, а параметрический [6, 7] при  $SNR=-90$ дБ, при условии что шум гауссовский, белый. Приведённые в качестве примера работы базируются на использовании уравнения Дуффинга-Холмса, реализуемого численными методами в качестве нелинейного цифрового фильтра. Однако, большинство авторов [2, 4, 6, 7] ограничиваются лишь цифровой симуляцией эксперимента в средах наподобие Matlab/Simulink.

В данной работе, кроме численного моделирования, осуществляется экспериментальная проверка физическим экспериментом, возможности распознавания сигналов слабых на фоне шумов и рассматриваются возможности применения генератора хаоса в качестве порогового измерительного преобразователя для средств контроля.

Одной из простых моделей для реализации генератора хаоса, близкого по свойствам генератору Дуффинга-Холма является неавтономная MLC-цепь [5] (рисунок 1).



**Рисунок 1 — Электрическая схема MLC-цепи:**  
 $R, L, C$  — линейные элементы;  $g$  — диод Чуа;  $F \sin(\Omega t)$  — опорный синусоидальный генератор

Для MLC-цепи справедлива следующая система уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} C \frac{dv_C}{dt} = i_L - g(v_C) \\ L \frac{di_L}{dt} = -R \cdot i_L - v_C + F \cdot \sin(\Omega t) \end{array} \right. , \quad (1)$$

где:  $g(v_C)$  — нелинейная функция, описывающая преобразователь отрицательного сопротивления — диод Чуа. Принимая следующие условные замены можно записать исходную систему уравнений в безразмерном виде:

$$\beta = \frac{C \cdot R^2}{L}; \quad \omega = \Omega CR; \quad f = \frac{F \cdot \beta}{B_p}; \quad v_C = x \cdot B_p; \quad t = \tau \cdot C \cdot R; \quad i_L = \frac{y \cdot B_p}{R}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{d\tau} = y - h(x) \\ \frac{dy}{d\tau} = -\beta \cdot y - \beta \cdot x + f \sin \omega \tau \end{array} \right. \quad (2)$$

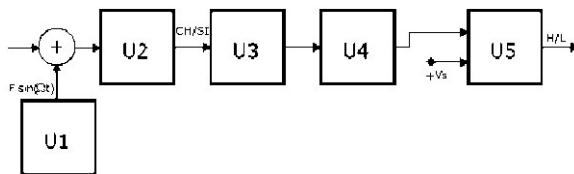
Система уравнений (2) описывающая MLC-цепь в безразмерной форме отличается от уравнения Дуффинга-Холмса лишь способом введения нелинейной функции.

Исследование базировалось на использовании численных методов, применении схмотехнического моделирования и практической реализацией физического эксперимента. Опорный синусоидальный генератор может задавать разнообразные режимы работы MLC-цепи. С помощью алгоритма, описанного в [1] был проведён бифуркационный анализ возможных режимов, позволивший задаться следующими параметрами в безразмерных величинах для работы на границе «хаос — периодические колебания»  $\beta=0.9$ ;  $\omega=0.4$ ;  $f=0.081$ . В данной точке наблюдается сценарий возникновения хаоса через перемежаемость.

Решение уравнения (3) методом Рунге-Кутта 4 порядка позволяет обнаруживать слабый сигнал  $d=0.05$  на фоне преобладающего шума  $\sigma=0.1$ , что соответствует SNR=-29дБ.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{d\tau} = y - h(x) \\ \frac{dy}{d\tau} = -\beta y - \beta x + f \sin \omega \tau + (d \sin \omega \tau + \sigma \cdot n(\tau)) \end{array} \right. \quad (3)$$

где:  $n(\tau)$  — гауссовский случайный процесс, с нулевым средним значением, равномерным спектром, действующим значением равном 1.



**Рисунок 2 — Структурная схема порогового измерительного преобразователя**

Распознавание слабых сигналов на фоне шумов можно осуществить по распознаванию установившегося вида движения в хаотической системе с помощью структурной схеме измерительного преобразователя (рисунок 2). Помимо опорного синусоидального U1 и хаотического U2 генераторов в схему входит фильтр U3, детектор U4, компаратор U5. Схема обработки хаотического сигнала базируется на спектральном подходе. Предполагается, что хаотическое движение, являющееся суммой субгармонический колебаний разных периодов, будет иметь шумоподобный спектр, в то время как периодические колебания имеют спектр в виде одиночных составляющих, соответствующих основному периоду колебаний и всех высших гармоник. Полоса пропускания фильтра должна соответствовать в пределах  $1/3$ — $1/2$  от частоты опорного генератора  $\Omega$ , при этом на частоте генератора  $\Omega$  должно обеспечиваться как можно более сильное подавление. Далее, отфильтрованный сигнал детектируется и подаётся на вход компаратора, где по сравнению с фиксированной величиной выдаётся логический сигнал соответствующий хаосу либо периодическим колебаниям.

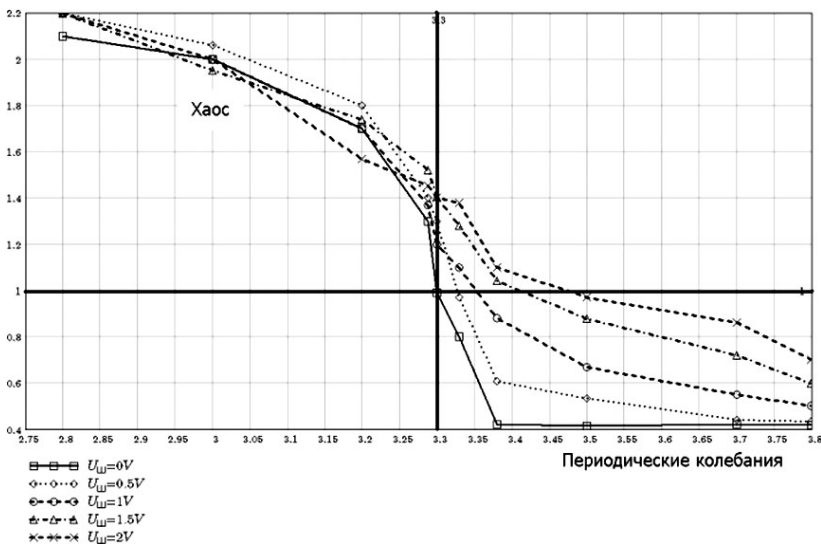
Физическая реализация эксперимента потребовала предварительной проверки всего измерительного преобразователя в PSPICE-системе схемотехнического моделирования. Нелинейный элемент генератора хаоса — диод Чуа был реализован на основе CFOA ОУ согласно рекомендациям [3], частота опорного генератора  $\Omega/2\pi=10$ кГц. Разработанный пассивный LC-фильтр обеспечивал максимум на частоте 3330Гц и ослабление 60дБ на частоте опорного генератора. Выход компаратора был подключён к индикаторному светодиоиду для наглядности.

Экспериментальная установка включала БП Mastech HY5003-2, генератор сигналов SFG-71013, генератор шума низкочастотный Г2-47, осциллограф АСК-6022. Эксперимент проводился с целью установления напряжения опорного генератора при котором происходило переключение компаратора, в присутствии разного по уровню шума.

Вариация точки переключения позволяет определить при каком SNR переключается измерительный преобразователь.

Исследования проводились при следующих настройках генератора шума: тип шума — «белый», полоса частот 20 Гц—20 кГц, выходное напряжение  $U_{ш}$  (RMS) задавалось из следующих значений: 0 В; 0,5 В; 1 В; 1,5 В; 2 В.

Зависимость выходного напряжения детектора от напряжения опорного генератора при разных значениях напряжения генератора шума приведена на рисунке 3.



**Рисунок 3 — Зависимость выходного напряжения детектора от величины опорного напряжения в присутствии разных по уровню шумов**

Считая пороговым уровнем детектора напряжение 1В и базовым опорным напряжением генератора 3,3 В можно получить следующие величины при разных напряжениях генератора шума: SNR=-24 дБ при  $U_{ш}=0,5$  В; SNR=-26 дБ при  $U_{ш}=1$  В; SNR=-22 дБ при  $U_{ш}=1,5$  В; SNR=-21 дБ при  $U_{ш}=2$  В. Таким образом, экспериментально подтверждается способность хаотических систем обнаруживать периодические сигналы на фоне шумов, полученное соотношение сигнал шум практически соответствует величинам, получаемым при численном моделировании.

Рассмотренный вариант порогового измерительного преобразователя может применяться в радиотехнических устройствах обнаружения

слабых периодических сигналов, а также датчиках и средствах контроля, где уровень получаемого полезного сигнала много меньше уровня шумов.

### Список литературы:

1. Патрушева Т.В. Двухпараметрический анализ динамики измерительного преобразователя на основе детерминированного хаоса [текст] / Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев // Ползуновский альманах, № 1.- Барнаул: АлГТУ, 2011. — С. 37—40.
2. Chen H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring [text] / H.Y. Chen, J.T. Lv, S.Q. Zhang, L.G. Zhang, J. Li.// J. Phys. Conf. Ser.13. — London: IOP Publishing, 2005. — P. 320—324.
3. Elwakil A.S. Improved implementation of Chua's chaotic oscillator using current feedback op amp [text]/ A.S. Elwakil, M.P. Kennedy // IEEE Trans. Circuits Syst., Vol. 47, Iss. 1.- New York: IEEE Circuits and Systems Society, 2000. — P. 76—79
4. Huang T. Chaos theory based ultrasonic Doppler for velocity measurement of fluid in the petroleum channel [text] / Tao Huang, Lele Qin // Fifth International Conference on Natural Computation ICNC '09., Vol. 5.- Shijiazhuang: Hebei Univ. of Sci. & Technol., 2009. — P. 460—463
5. Murali K. The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit [text]/ K. Murali, M. Lakshmanan, L.O. Chua // IEEE Trans. Circuits Syst., Vol.41. — New York: IEEE Circuits and Systems Society, 1994. - P. 462—463.
6. Yue L. Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise [text] / Yue Li, Baojun Yang // Chinese Science Bulletin, Vol. 48, № 5. — [China]: Science China Press, 2007. - P. 1906—1912.
7. Zheng S. A new method for detecting line spectrum of ship-radiated noise using duffing oscillator [text]/ Zheng SiYi, Guo HongXia // Chinese Science Bulletin, Vol. 52, № 14. — [China]: Science China Press, 2003. - P. 508—510.

## СЕКЦИЯ 9.

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

## АДСОРБЦИЯ МЕТАЦИДА НА БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЕ

*Балыкбаева Гулжан Толепбергенкызы*

*Канд. хим. наук, ст. преподаватель, КГУ им. Коркыт Ата,  
г. Кызылорда*

*E-mail: [bal\\_gulzhan@mail.ru](mailto:bal_gulzhan@mail.ru)*

## THE ADSORPTION OF METACIDE BENTONITE CLAY

*Gulzhan Balikbaeva*

*Candidate, Chemical, Senior Lecturer, Korkyt ata Kyzylorda State  
University*

### АННОТАЦИЯ

Исследована адсорбция метацида (МЦ) на поверхности бентонитовой глины в зависимости от концентрации МЦ и pH среды.

Установлено, что с увеличением pH среды возрастает адсорбция МЦ, которая связана с ростом отрицательного заряда частиц бентонитовой глины. Электрокинетический потенциал частиц активированного бентонита существенно повышается в отрицательную сторону с ростом pH среды, что способствует росту адсорбции МЦ. Экспериментальные результаты по адсорбции МЦ на бентонитовой глине объяснены на основе теории адсорбции полиэлектролитов Хесселинка.

### ABSTRACT

Adsorption of metacide (MC) bentonite clay depending on concentration of MC and pH of the medium was studied.

It was established, that the rise of pH increases adsorption of MC. It is explained by growth of negative charge of particles of bentonite clay. Electrokinetic potential of particles of bentonite clay and adsorption of MC essentially increases to the negative, when pH of the medium rises. Experimental data on adsorption of MC on bentonite clay are explained on the basis of Hesselinck theory of adsorption of polyelectrolytes.

**Ключевые слова:** кислотоактивированной бентонитовой глины; метацид; адсорбция.

**Keyword** acid activated bentonite clay; metacide; adsorption.

Водорастворимые соли бактерицидного полимера — полигексаметилен-гуанидинхлорида — метацида (МЦ) обладают высокими бактерицидными свойствами в отношении вегетативных форм микроорганизмов. Они активны в широком диапазоне pH и сохраняют высокую активность в присутствии больших количеств органических примесей [1, с. 310].

В связи с этим возникла необходимость в изучении адсорбции МЦ на поверхности адсорбента — активированного кислотой бентонитовой глины, для создания бактерицидных фильтров. Такие фильтры могут быть использованы для очистки питьевой воды от химических примесей и бактерий в экологически неблагоприятных регионах Приаралья Республики Казахстан.

Исследование кинетики адсорбции высокомолекулярных соединений глинистыми частицами важны по нескольким причинам - кинетика адсорбции играет важную роль во флокуляции дисперсных систем полимерами и часто определяет механизм данного процесса. Из-за различий во времени адсорбции полимеров на частицах различной природы во многих случаях удается добиться селективного разделения минеральных смесей [2, с. 144]. Знание кинетики адсорбции бактерицидных полимеров частицами кислотоактивированной бентонитовой глины необходимо для целенаправленного регулирования процесса очистки Сырдарьинской воды от болезнетворных микробов.

Кинетику адсорбцию метацида на поверхности частиц кислотоактивированной бентонитовой глины изучали при комнатной температуре в диапазоне 5—240 минут интерферометрическим методом.

Результаты рентгенофазового анализа, показывают, что все анализируемые образцы бенионитовой глины (естественный, термообработанный и кислотооактивированный) имеют одинаковые дифрактограммы, характерные для минералов группы монтмориллонита.

В данной работе приведены результаты изучения кинетики адсорбции метацида на поверхности кислотоактивированной бентонитовой глины. Показано, что с увеличением продолжительности контакта макромолекул МЦ с частицами от 5 мин до 4 часов удельная адсорбция полимера закономерно возрастает. Как и следовало ожидать, с ростом pH адсорбция МЦ на поверхности активированного кислотой бентонита существенно возрастает.

Известно [3, с. 168], что при кислотной обработке бентонита уменьшается величина его обменной емкости. Это сопровождается разрушением структуры монтмориллонита, и в обменном положении, наряду с ионами водо рода появляются катионы алюминия. При этом высвобождается некоторое количество силикагеля, что приводит к увеличению удельной поверхности активированных образцов в 2—4 раза по сравнению с таковой естественных бентонитов. Это приводит

также к появлению крупных переходных пор и увеличению пористости образца.

При рассмотрении кинетики адсорбции полимеров и, в частности, полиэлектролитов, следует учитывать как время диффузии макромолекул к поверхности частиц, так и собственно кинетику адсорбции, то есть время, необходимое для достижения равновесной конформации макромолекул в поверхностном слое. Измеряемая на опыте величина адсорбции определяется действием обоих указанных факторов. Интересно выявить, хотя бы приблизительно, их относительный вклад в удельную адсорбцию полимеров. Согласно Грегори [4, с. 231—243], при добавлении раствора полимера к дисперсии можно условно выделить следующие стадии: а) смешивание (распределение) макромолекул полимера между частицами; б) адсорбция полимерных сегментов на поверхности частиц; в) перераспределение адсорбированных цепей, то есть переход конформации макромолекул от исходного состояния в растворе до равновесного или близкого к равновесному состоянию на поверхности; г) столкновение частиц с адсорбированными полимерами с образованием флокул.

Обычно применяемое на практике смешение малого объема раствора флокулянта со сравнительно большим объемом дисперсии требует определенного времени, в течение которого на поверхности некоторых частиц может адсорбироваться избыточное количество полимера, что приведет к их стабилизации. Во избежание этого осложнения в наших опытах осуществлялось быстрое смешивание равных объемов дисперсии и раствора метацида. Можно предположить, что кинетика адсорбции полимеров, по крайней мере в начальной стадии процесса, когда покрытие поверхности еще низкое, контролируется диффузией, то есть в этих условиях скорость адсорбции будет зависеть от скорости подхода полимерных молекул к поверхности. По мере ее заполнения скорость адсорбции будет падать из-за уменьшения числа доступных для сегмента мест.

Скорость адсорбции определяется числом встреч частица-макромолекула за единицу времени в единице объема, то есть [1]:

$$V = k_{1,2} \cdot N_1 \cdot N_2 \quad (1)$$

где:  $N_1$  — число частиц бентонита и  $N_2$  — число макромолекул в единице объема,  $k_{1,2}$  — константа скорости адсорбции. Таким образом, с ростом концентрации метацида в растворе скорость адсорбции должна расти. Это действительно имеет место на опыте, особенно при малых концентрациях метацида в растворе.

Константа скорости адсорбции может быть вычислена по уравнению для перкинетики процесса (при медленном перемешивании системы) столкновения неодинаковых сфер (полимерный клубок метацида аппроксимируется эквивалентной сферой), справедливой для транспорта, контролируемого диффузией [5]:



$$k_{1,2} = \frac{(2kT/3\eta)(r_1 + r_2)^2}{r_1 \cdot r_2} \quad (2)$$

где:  $k$  — константа Больцмана,

$T$  — абсолютная температура,

$\eta$  — вязкость среды,

$r_1$  и  $r_2$  — радиусы частиц бентонита и полимерного клубка метацида соответственно.

Предполагая, что концентрация частиц в системе неизменна (то есть не происходит агрегации частиц в ходе адсорбции) и что константа скорости адсорбции не зависит от степени покрытия поверхности полиэлектролитом можно найти выражение для времени  $\tau_A$ , необходимого для адсорбции  $f$  доли добавленного полиэлектролита [4, с. 231—243]:

$$\tau_A = -\ln(1-f)/k_{1,2} \cdot N_I \quad (3)$$

Изотерма адсорбции МЦ на кислотоактивированном бентоните описывается классическими изотермами, характеризующимися полным извлечением МЦ из раствора при низких концентрациях и выходом кривых на плато при высоких. Рост адсорбции МЦ с увеличением pH среды связан, по-видимому, с повышением отрицательного заряда частиц бентонитовой глины, что подтверждено существенными изменениями электрокинетических значений. Сопоставление данных кинетики адсорбции с константами скорости адсорбции, вычисленными по уравнению Грегори для перикинетического процесса столкновения неодинаковых сфер (частицы бентонита и полимерного клубка) показывает, что величина адсорбции МЦ определяется и диффузией макромолекул к поверхности, так и вторичными процессами перераспределения адсорбированного гетеродисперсного МЦ во времени. Опытные закономерности адсорбции МЦ на бентонитовой глине объяснены на основе теории адсорбции полиэлектролитов Хесселинка.

### Список литературы:

1. Афиногенов Г. Е., Панарин Е. Ф. Антимикробные полимеры // Сб. Гиппократ. — 1993. — 310 с.
2. Баран А. А., Тесленко А. Я. Флокулянты в биотехнологии. Л.: Химия. 1990, — 144 с.
3. Батталова Ш. Б. Физико-химические основы получения и применения катализаторов и адсорбентов из бентонитов. — Алма-Ата: Наука, 1986. — 168 с.
4. Gregory J. Flocculation kinetics of zyncosulphids luminophora in the presense of cation polyelectrolytes // Colloids and Surfaces. — 1988. — 31. — P. 231—243.

## СЕКЦИЯ 10.

### НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Илясов Виктор Васильевич*

*д-р техн. наук, проф. кафедры физики, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону*

*Нгуен Ван Чьонг*

*студент кафедры ФиПМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону*

*E-mail: [chuongnguyen11@gmail.com](mailto:chuongnguyen11@gmail.com)*

#### RESEARCH NANOSTRUCTURES SURFACES OF MATERIALS BY METHODS LASER RADIATION

*Victor Ilyasov*

*Doctor of Technical Sciences, Department of Physic, DSTU, Rostov  
on Don*

*Nguyen Van Chuong*

*Student departmet P&AM, DSTU, Rostov on Don*

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлен метод лазерного наноструктурирования поверхности твердых тел для повышения физико-механических, электрических, тепловых и электронно-эмиссионных свойств материалов.

#### ABSTRACT

In this paper is presented the method of laser nanostructuring the surfaces of materials to enhance physical, mechanical, electrical, thermal and electron — emission properties of materials.

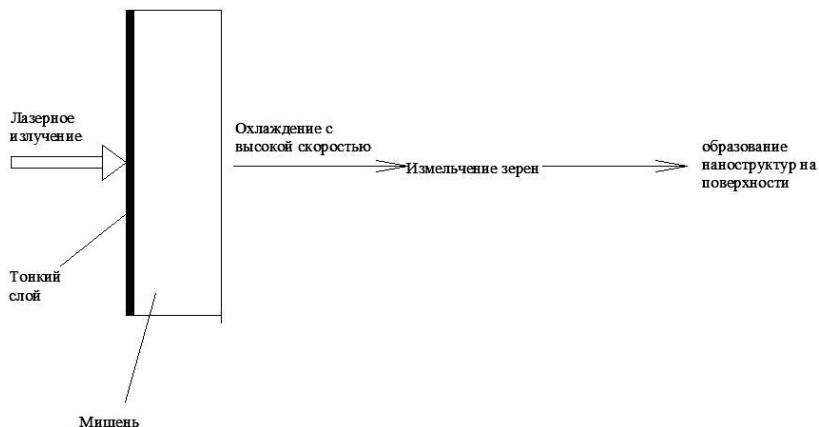
**Ключевые слова:** Лазер; наноструктура; микроскоп.

**Key words:** Laser; nanostructure; microscope.

Исследования последних лет показали, что наноструктурные поверхностные материалы с размером зерен менее 100 нм обладают улучшенными физико-механическими свойствами. Наноразмерные кристаллические зерна имеют не только высокую термическую стабильность, но и придают покрытиям сверхвысокую прочность и ударную вязкость. Использование лазерного наноструктурирования позволяет достичь здесь наилучших результатов.

Процесс облучения материала интенсивным импульсным лазерным пучком сопровождается изменением структурно-фазового состояния приповерхностной области. Тонкий расплав материала, присутствующий на поверхности мишени, после окончания импульса начинает охлаждаться с высокой скоростью, что приводит к значительному его переохлаждению и повышает вероятность зародышеобразования твердой фазы, следовательно, у поверхности резко увеличивается концентрация центров зародышеобразования, другими словами, происходит измельчение зерен. Размер зерен на поверхности после облучения может составлять сотни или даже десятки нанометров. Таким образом, облучение приводит к формированию околповерхностных наноструктур, физические свойства которых могут заметно отличаться от свойств структур в крупнозернистом состоянии.

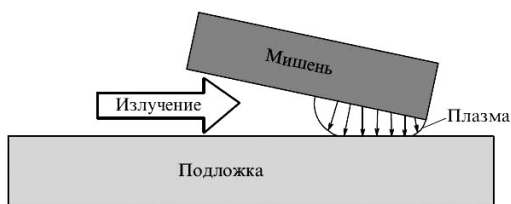
Этот метод называется методом «прямого лазерного наноструктурирования» (рис. 1).



**Рис. 1. Сущность метода «прямого лазерного наноструктурирования»**

Для наноструктурирования поверхности углеродосодержащих материалов еще используют метод « косвенного лазерного наноструктурирования»: формирование наноструктур на поверхности подложки, расположенной на некотором расстоянии от мишени (рис. 2). При этом на подложке происходит осаждение продуктов абляции.

Геометрия процесса лазерной абляции и напыления, реализованного в описываемых ниже экспериментах [3].



**Рис. 2. Метод косвенного лазерного наноструктурирования твердых тел**

Сфокусированный лазерный пучок попадал на край графитовой мишени под небольшим ( $5\text{--}10^\circ$ ) углом к поверхности. Подложка из нержавеющей стали располагалась параллельно оси лазерного пучка на фиксированном расстоянии (менее  $0,5\text{ мм}$ ) от мишени. Плазма, образующаяся при импульсном испарении материала мишени, имела видимый размер около  $1\text{ мм}$  (по нормали к поверхности) и касалась поверхность подложки. Облучение мишени осуществлялось  $300\text{-}$ Пикосекундными импульсами твердотельного  $Nd:YAP$ -лазера надлине волны  $1078\text{ нм}$ . Энергия импульса составляла около  $3\text{ мДж}$  при частоте следования импульсов  $5\text{ Гц}$ . Излучение фокусировалось стеклянной линзой в пятно диаметром  $40\text{ мкм}$  по уровню интенсивности  $1/e^2$ , так что интенсивность импульса достигала  $10^{10}\text{ Вт/см}^2$ . Для увеличения площади напыления лазерный пучок двигался относительно подложки (и мишени) вдоль оси, перпендикулярной плоскости подложки. Вскоре после начала процесса напыления промежуток между подложкой и мишенью заполнялся взвесью испаренных углеродных микрочастиц, что приводило к инициированию низкопорогового пробоя воздуха. Поскольку частота следования лазерных импульсов была невысокой, то даже маломощный вентилятор легко сдувал эту взвесь, что позволяло предотвратить нежелательный пробой.

Зависимости размер задыроша от исходных параметров [1]:

$$r(t) = \frac{v_0 d \exp(-U / kT_k^2 h)}{\varepsilon U (U + h)} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{U \varepsilon t}{kT_k^2}\right) \right]$$

где:  $U$  — энергия активации перемещения атома;

$t$  — продолжительность лазерного импульса;  $k$ - постоянная Больцмана  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T_k$  — температура фазового превращения;

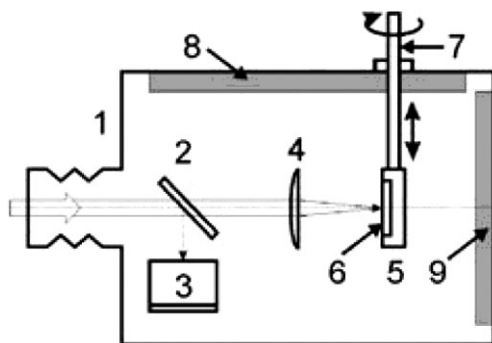
$\varepsilon$  — средняя скорость охлаждения расплава;

$v_0$  — дебаевская частота колебания атомов в переохлаждении жидкости;

$d$  — характерный размер, приходящийся на один атом;

$h$  — теплота фазового превращения на один атом

Формирование наноструктур на поверхности разных твердых материалов было обнаружено при многократном воздействии одним пучком наносекундного ArF-лазера с длиной 193 нм. На рис. 3 приведен метод «прямого лазерного наноструктурирования» [2].

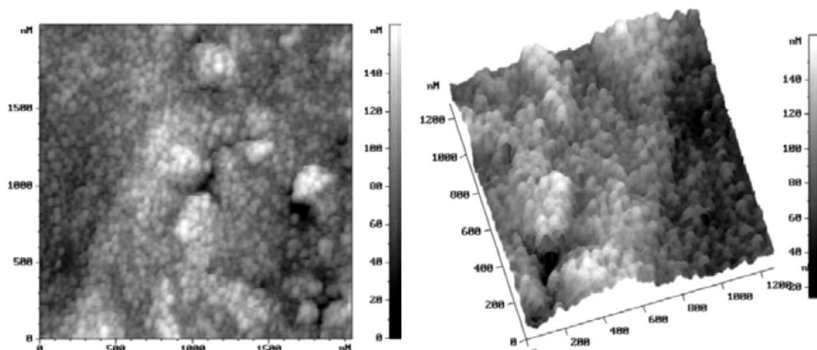


*Рис. 3. Схема рабочей камеры*

В этой схеме 1. Корпус с камеры; 2. Прозрачная пластина из флюорита для отвода части интенсивности пучка в измеритель энергии; 3. Измеритель энергии; 4. Фокусирующая линза; 5. Держатель образца; 6. Образец; 7. Герметичный ввод для перемещения держателя образца; 8. Прозрачное окно для наблюдения снаружи за перемещением образца в камере; 9. Задний съемный фланец камеры

Анализ профилей облученных поверхностей проводился с помощью атом-силового микроскопии (АСМ). Фотографии рельефа на

поверхности т в результате облучения наносекундным ArF-лазером с длиной волны 193 нм (рис. 4).



**Рис. 4. Фотографии типа 2D и 3D рельефа на поверхности титана в результате облучения наносекундным ArF-лазером с длиной волны 193 нм**

Расчеты параметров лазерного наноструктурирования при разных длительностях лазерного импульса на различные материалы приведены в табл.1.

**Таблица 1.**

**Расчет характеристик лазерного структурирования**

Q, Дж / м <sup>2</sup>	Материал	t, с	y, мкм	t <sub>крит</sub> , 10 <sup>-8</sup> с	r(t), нм
4.10 <sup>4</sup>	Нержавеющая сталь	10 <sup>-8</sup>	0,7	2,1	0,3
		10 <sup>-7</sup>	1,7	12	2,6
	Никель	10 <sup>-8</sup>	1,3	7,7	0,4
		10 <sup>-7</sup>	2,5	32	3,3
	Титан	10 <sup>-8</sup>	1,0	7,7	0,7
		10 <sup>-7</sup>	2,3	46	6,6

Как видно из таблицы длительность импульса лазерного излучения оказывает влияние на параметры облученных поверхности материала: чем меньше длительность импульса тем меньше размеры зародыша кристаллизации.

Расчет параметров формирующей наноструктуры на пример Ti дает величину порядка 60 нм при плотности энергии 6 Дж / см<sup>2</sup>, что согласуется с результатами эксперимента.

### **Выводы:**

Наноструктурирование поверхности твердых тел позволяет улучшать физико-механические, электрические, тепловых свойства материалов, может применяться для увеличения ресурса работы деталей машин и стойкости инструмента.

Установлена зависимость параметров образующейся поверхностной наноструктуры от плотности падающей энергии в лазерном пучке, что указывает на возможность управления процессами формирования таких структур.

### **Список литературы:**

1. Аракелян С.М. Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики: учеб. пособие Владим. гос. ун-та. — Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. —140 с.
2. Лапшин К.Э., Обидин А.З., Токарев В.Н., Хомич В.Ю., Шмаков В.А., Ямщиков В.А. Прямое лазерное наноструктурирование поверхности алмазных пленок и керамики нитрида кремния наносекундными импульсам излучения F2 — лазера // Российские нанотехнологии. Том 2. № 11—12. 2007. С. 28—30.
3. Миколуцкий С.И., Хомич В.Ю., Шмаков В.А., Ямщиков В.А. Зарождение и рост наноструктур на поверхности твердого тела, оплавленного лазерным импульсом // Российские нанотехнологии. Том 6. № 11—12. 2011. С. 65—69

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

Материалы XI международной заочной научно-практической  
конференции

25 июня 2012 г.

Под редакцией канд. техн. наук Якова Аркадьевича Полонского

Подписано в печать 02.07.12. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 7,5. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

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