



# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

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

№ 10 (23)  
Октябрь 2013 г.

Часть I

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2013

УДК 62  
ББК 30  
Т 38

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

**Ахметов Сайранбек Махсutowич** — д-р техн. наук, проф., ректор Казахского университета инновационных и телекоммуникационных систем, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК, г Уральск.

Редакционная коллегия:

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

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

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

**Т 38 Технические науки — от теории к практике.** № 10 (23). Часть I: сборник статей по материалам XXVII международной научно-практической конференции. — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. — 146 с.

Учредитель: НП «СибАК»

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

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Инженерная графика, САПР, САД, САЕ</b>	<b>7</b>
ПРИМЕНЕНИЕ САД/САЕ-СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ Хусаинов Рустем Мухаметович Ахкиямов Дамир Рифович	7
<b>Секция 2. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>12</b>
КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Евельсон Лев Игоревич Рыжикова Елена Геннадьевна	12
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС» С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ Евельсон Лев Игоревич Хандыго Валентина Геннадьевна	19
ОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА К ИННОВАЦИОННОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА Клименко Елена Васильевна	25
ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ЖД ТРАНСПОРТЕ Петрусь Иван Павлович	30
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АКМОЛИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕСА Сейфуллина Асель Олжабаевна Жумабаева Айман Омирсериковна Тунгышбайулы Кендебай	34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ВЕБ-СЕРВИСОВ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ Якубайлик Олег Эдуардович	41
<b>Секция 3. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>46</b>
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕДНЕПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ПОВОРОТА Копылов Семен Юрьевич Трояновская Ирина Павловна	46
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ Парфеньева Ирина Евгеньевна	53
К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОДОЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КАВИТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ Прохасько Любовь Савельевна Ярмаркин Дмитрий Александрович	61
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Скоробогатова Татьяна Николаевна	65
КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗУБОДОЛБЕЖНОГО СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ ЗУБА Хусаинов Рустем Мухаметович Хазиев Рустам Ринатович	71
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ «ОСНОВАНИЕ» Хлебников Антон Анатольевич Кангин Михаил Владимирович	77

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ БЛОКА УПРАВЛЯЕМЫХ ДЕБАЛАНСНЫХ ВИБРОВИБУДИТЕЛЕЙ Черевко Александр Николаевич	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЯ С ЦЕЛЬЮ РЕГЕНЕРАЦИИ ЕГО СВОЙСТВ Шанина Ольга Геннадьевна Рябикина Татьяна Владимировна	94
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОЛЬЗЯЩЕГО УДАРА ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА (МСХ) БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ Шенкман Людмила Владиславовна Козлова Светлана Николаевна Савина Елена Сергеевна	100
РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ С ПОМОЩЬЮ АЛЬТЕРНИРУЮЩЕГО МЕТОДА ШВАРЦА Яковлев Максим Евгеньевич	108
<b>Секция 4. Энергетика и энергетические техника и технологии</b>	<b>115</b>
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СВЕРХМОЩНОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СТАДИЙ ПЛАВКИ ПО ВЫСШИМ ГАРМОНИКАМ ТОКОВ ДУГ Николаев Александр Аркадьевич Ануфриев Антон Владимирович Корнилов Геннадий Петрович Ивекеев Владимир Сергеевич Ложкин Игорь Александрович	115
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЙ ВЕЛИЧИНЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ТОКОВ СТАТОРА Новожилов Александр Николаевич Крюкова Елена Викторовна Исупова Наталья Александровна Новожилов Тимофей Александрович Никитин Константин Иванович	132

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН  
С ОДНОСТУПЕНЧАТЫМ ПОДОГРЕВОМ СЕТЕВОЙ  
ВОДЫ

139

Шубенко Александр Леонидович

Бабенко Ольга Анатольевна

## СЕКЦИЯ 1.

### ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ

#### ПРИМЕНЕНИЕ САД/САЕ-СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

***Хусаинов Рустем Мухаметович***

*канд. техн. наук, доцент Набережночелнинского института  
(филиала) Казанского федерального (Приволжского) университета,  
г. Набережные Челны  
E-mail: [rmh@inbox.ru](mailto:rmh@inbox.ru)*

***Ахкиямов Дамир Рифович***

*аспирант Набережночелнинского института  
(филиала) Казанского федерального (Приволжского) университета,  
г. Набережные Челны  
E-mail: [damir-rx@mail.ru](mailto:damir-rx@mail.ru)*

#### CAD/CAE APPLICATION — SYSTEMS FOR RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF RIGIDITY OF BEARING SYSTEMS OF METAL-CUTTING MACHINES

***Khusainov Rustem Mukhametovich***

*candidate of Technical Sciences, associate professor of the  
NaberezhnyeChelny institute  
(branch) of the Kazan federal (Volga) university,  
Naberezhnye Chelny*

***Akhkiyamov Damir Rifovich***

*graduate student of the Naberezhnye Chelny institute  
(branch) of the Kazan federal (Volga) university,  
Naberezhnye Chelny*

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается выявление главных осей жесткости с помощью средств трехмерного моделирования. Результатом такого подхода является снижение трудоемкости и материальных затрат по сравнению с экспериментальными исследованиями; повышение качества изготовления деталей

## ABSTRACT

In article identification of the main axes of rigidity by means of means of three-dimensional modeling is considered. Result of such approach is decrease in labor input and material inputs in comparison with pilot studies; improvement of quality of production of details input and material inputs in comparison with pilot studies; improvement of quality of production of details

**Ключевые слова:** несущая система; жесткость; деформация.

**Keywords:** bearing system; rigidity; deformation.

Одной из главных задач при обработке изделий является обеспечение условий, для получения детали с минимальными погрешностями размеров и формы, т. е. отсутствия отклонений от заданных номинальных положений инструмента и заготовки. Такие отклонения возникают как результат различных внешних воздействий на технологическую систему станка.

Согласно [1], несущая система имеет центр жесткости и если внешние воздействия проходят через этот центр, то отклонение положений заготовки и инструмента определяются деформациями только по главным осям жесткости. Существуют ось максимальной жесткости, вдоль которой наблюдаются минимальные деформации, при действии нагрузок, и ось минимальной жесткости, вдоль которой наблюдаются максимальные деформации, при действии нагрузок. Эти оси взаимно перпендикулярны.

Таким образом, для достижения минимальных деформаций и устойчивости технологической системы необходимо, чтобы вектор равнодействующей силы резания был как можно ближе к оси максимальной жесткости. Для этого нужно определить направление главных осей жесткости.

Определить ось максимальной жесткости можно по следующим условиям:

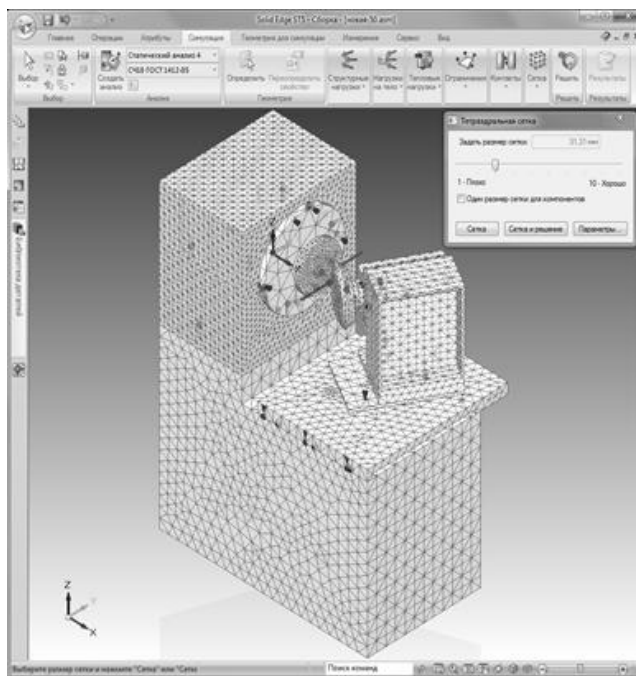
- вдоль этой оси наблюдаются минимальные деформации
- направление вектора деформации полностью совпадает с направлением вектора сил.



Традиционно определение направление осей жесткости происходит экспериментальным путем, а это сопровождается высокой трудоемкостью и материальными затратами.

Применение средств трехмерного моделирования и инженерного анализа (CAD/CAE-системы) для исследования деформаций несущей системы в значительной степени поможет избавиться от выше-указанных недостатков.

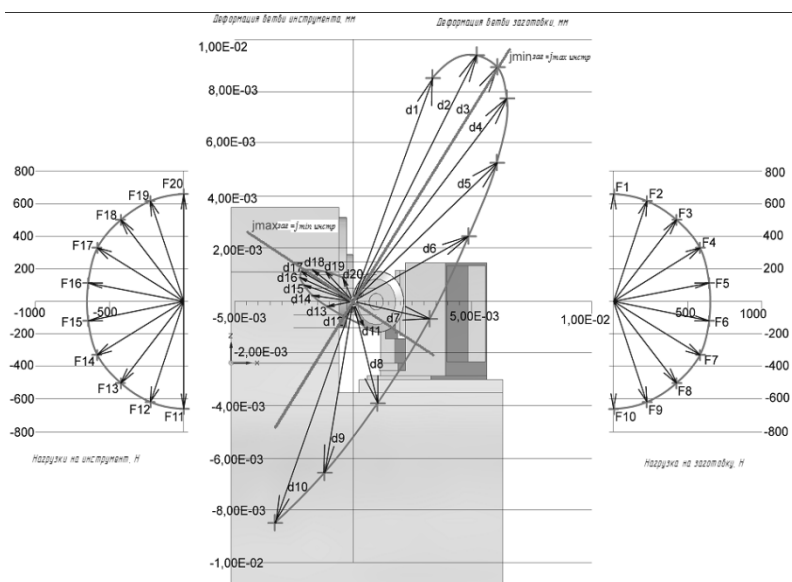
Для достижения поставленной цели было применено программное обеспечение Solid Edge ST5 от компании Siemens PLM Software. В этом программном обеспечении была сконструирована 3D модель зуборезного станка 5П23А, предназначенного для нарезания конических колес с круговым зубом. Данную модель сконструировали путем сборки трехмерных моделей базовых деталей станка с учетом характера соединений. Была выполнена имитация установки станины на трех опорах. Также была построена конечно-элементная сетка для анализа статических упругих деформаций системы.



**Рисунок 1. Расчетная трехмерная модель несущей системы зуборезного станка**

Были приложены равнодействующие силы резания к заготовке и инструменту в точке их условного контакта (резания) и выполнена симуляция нагружения модели несущей системы этими силами. Суть вычислительного эксперимента заключалась в том, что вектор равнодействующей сил резания поворачивали на  $20^\circ$  (от  $90^\circ$  до  $-90^\circ$ ) вокруг условной точки резания и, используя функцию «Проба», определяли значение и направление деформаций при каждом угле поворота. Этот эксперимент проводился в горизонтальной и вертикальной плоскостях в отдельности для ветви инструмента и ветви заготовки.

По условиям, определяющим ось максимальной жесткости, которые были указаны ранее, выявили оси максимальной ( $j_{\max}$ ) и минимальной ( $j_{\min}$ ) жесткости.



**Рисунок 2. Нагрузки и деформации в вертикальной плоскости**

Итог проделанного исследования: определить главные оси жесткости возможно средствами трехмерного моделирования и конечно-элементного анализа, что дает возможность:

- Значительно снизить недостатки, которые сопровождают экспериментальные исследования.

- Повысит качество изготавливаемых зубчатых колес, путем обеспечения направления равнодействующей силы резания как можно ближе к оси максимальной жесткости, а это, в свою очередь, достигается изменением схемы резания, компоновки оснастки и, при возможности, компоновки несущей системы.

**Список литература:**

1. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967 — 360 с.

## СЕКЦИЯ 2.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Евельсон Лев Игоревич*

*канд. техн. наук, проф. БГИТА,  
г. Брянск*

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

*Рыжикова Елена Геннадьевна*  
*старший преподаватель БГИТА,  
г. Брянск*

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

#### PROGRAM COMPLEX FOR SIMULATION AND OPTIMUM PLANNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

*Evelson Lev Igorevich,*  
*prof., Ph.D., BGITA,*  
*Bryansk, Russia*

*Ryzhikova Elena Gennadiievna,*  
*senior Lecturer BGITA,*  
*Bryansk, Russia*

## АННОТАЦИЯ

Представлен комплекс программ для имитационного моделирования и оптимального планирования технологических процессов. Оригинальность комплекса проявляется в сочетании функций, связанных с выполнением научных исследований и с практическим планированием технологических процессов, в частности лесозаготовительных; в построении матрицы планирования эксперимента, реализации численного метода оптимизации функции отклика в случаях обнаружения недопустимых точек плана.

## ABSTRACT

A program complex for simulation and optimum planning of technological processes is presented. Peculiarity of the complex includes combination of functions for researching and for practical planning of technological processes, especially in timber industry. Another side of peculiarity is numerical method of optimization for cases when inadmissibility of the plan points is unmasked during the computational experiment.

**Ключевые слова:** комплекс программ, вычислительный эксперимент, оптимизация, недопустимые точки плана.

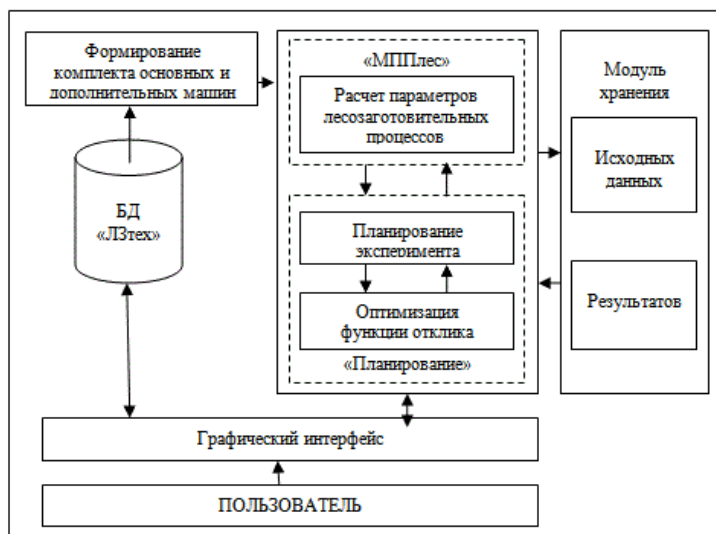
**Keywords:** program complex, computational experiment, optimization, inadmissible points of the plan

Для решения актуальных практических задач планирования производственных процессов перспективно применение компьютерного моделирования. На основе известных методов теории планирования эксперимента может быть составлена матрица плана. Вместо натуральных экспериментов, которые для многих производственных процессов многократно проводить невозможно или нецелесообразно, в точках плана можно реализовать вычислительный эксперимент. Фактически, строится имитационная модель. Предварительно должна быть сформирована математическая модель, позволяющая для заданных сочетаний значений выбранных на этапе планирования эксперимента управляющих факторов, получать значения функции отклика. Затем можно использовать статистические методы для построения регрессионной модели, с помощью которой можно исследовать технологический процесс и планировать его. В частности, становится возможным находить параметры процесса, соответствующие значениям функции отклика, близким к оптимальным.

Надо отметить, что хотя такой подход позволяет получать существенные практические выгоды, его применение во многих

случаях осложнено нарушением условий применимости статистических методов, разработавшихся для реальных экспериментов, в ситуациях компьютерного моделирования. Актуальными являются совершенствование методов и их адаптация к вычислительному эксперименту, а также разработка новых методов, учитывающих специфику решаемых производственных задач. Для эффективной реализации методов и получения надежных результатов актуально разрабатывать и внедрять специализированные комплексы программ, позволяющие сочетать решение производственных задач в выбранной отрасли с проведением научных исследований.

В статье представлен комплекс программ, позволяющий проводить вычислительные эксперименты, выполнять моделирование и оптимальное планирование технологических процессов. Структура комплекса типична для предлагаемого подхода. Комплекс состоит из трёх модулей: «ВычЭксп», «МППлес», база данных (БД) «ЛЗтех» (рисунок 1).



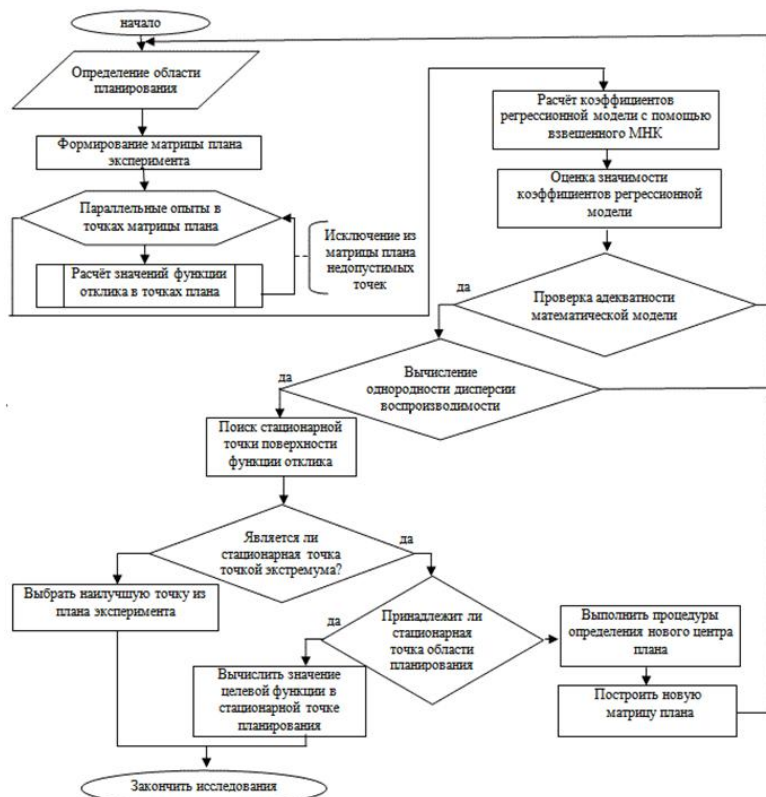
**Рисунок 1. Структура программного комплекса**

«ВычЭксп» — программный модуль, позволяющий составлять матрицу планирования вычислительного эксперимента, в том числе без учёта недопустимых точек плана, реализующий численный метод оптимизации функции отклика в случаях обнаружения недопустимых

точек плана. Под недопустимыми точками будем понимать точки плана эксперимента, в которых не может быть определено значение функции отклика с помощью математических моделей, реализующих рассматриваемую технологию. При этом «недопустимость» точки выявляется в процессе вычислительного эксперимента.

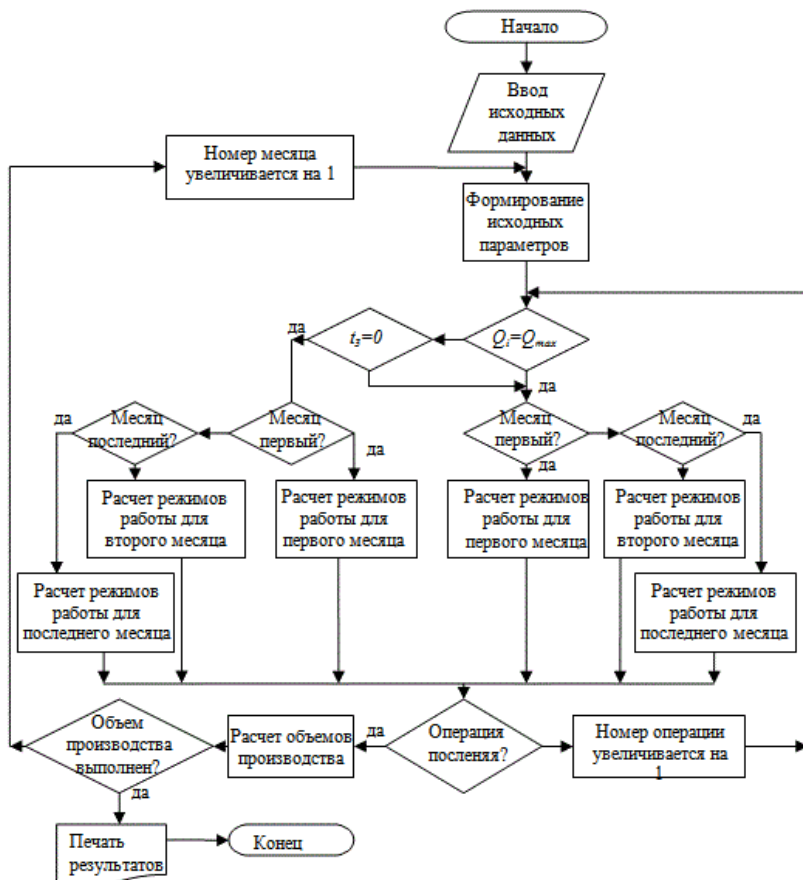
Модуль «ВычЭксп» отличается универсальностью, рекомендуется его использование для проведения вычислительных экспериментов в различных предметных областях. Алгоритм построения и оптимизации регрессионной модели представлен на рисунке 2.

В качестве конкретной предметной области были выбраны лесозаготовительные процессы.



**Рисунок 2. Алгоритм численного метода оптимизации поверхности функции отклика при обнаружении недопустимых точек плана**

Для определения значений функции отклика был разработан программный модуль «МППлес», моделирующий производственные процессы лесозаготовок [1]. Отличительной особенностью модуля является использование математической модели, учитывающей вариабельность состава парка машин за счёт подключения дополнительного оборудования (рисунок 3). Модуль зарегистрирован в Роспатенте [2].



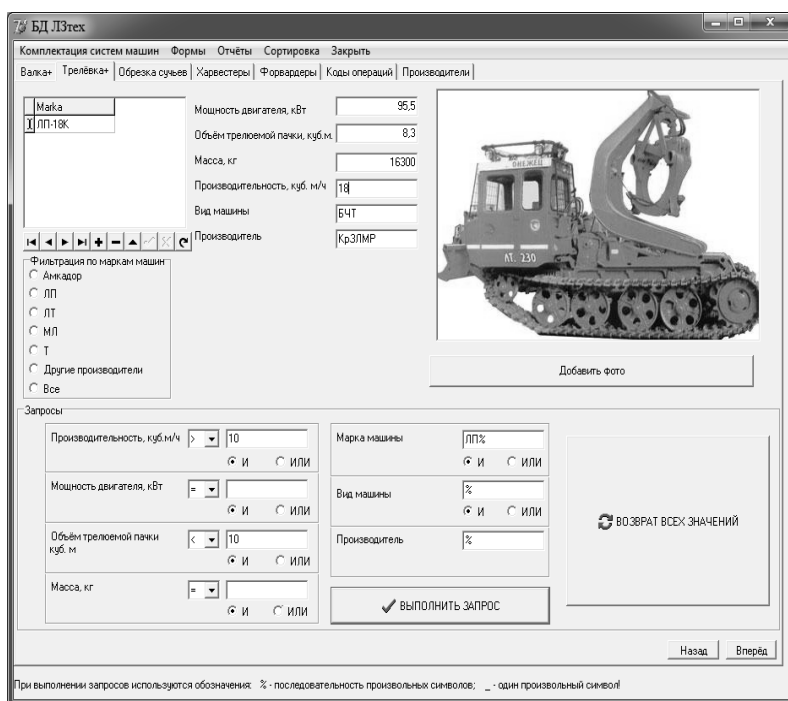
**Рисунок 3. Укрупненная схема расчётного алгоритма модуля «МППлес»**



Для информационного обеспечения (назначение параметров управляющих факторов и других параметров математических моделей) была создана БД «ЛЗтех» — база данных лесозаготовительной техники.

БД «ЛЗтех» содержит систематизированные данные о параметрах лесозаготовительных машин, позволяет подбирать комплект дополнительных машин при заданном комплекте основных. В БД включены следующие сущности: Валка+, Трелёвка+, Обрезка сучьев, Харвестеры, Харвестерные головки, Форвардеры, Коды операций, Производители.

Фрагмент интерфейса БД «ЛЗтех» представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4. Фрагмент интерфейса пользователя БД «ЛЗтех»**

Оригинальность комплекса программ «ВычЭксп», «МППлес», БД «ЛЗтех» проявляется в сочетании функций, связанных с выполнением научных исследований и с практическим планированием технологических процессов.

Его потенциальными потребителями являются лесозаготовительные предприятия, производители лесозаготовительной техники (пользователи-практики), исследователи технологических процессов (пользователи-исследователи).

Пользователи-практики могут использовать комплекс программ для решения практических задач по планированию лесозаготовительных процессов на конкретных лесосеках. Механизмы для выполнения научных исследований для них являются прозрачными и не оказывают влияние на ход планирования.

Пользователям-исследователям доступны все модули программного комплекса для моделирования и оптимизации технологических процессов.

Комплекс апробирован для определения оптимального числа смен работы лесозаготовительных машин в заданном диапазоне, при котором будут минимизированы энергозатраты в данных природно-производственных условиях. Выполнение лесозаготовительных работ по плану, определённому с помощью комплекса программ, приводит к сокращению затрат на топливо на 171864,1р. (30,5 %) по сравнению с разработкой лесосеки без использования дополнительной техники, без расчета оптимального числа смен работы машин.

### **Список литературы:**

1. Заикин А.Н. Теоретические основы технологии лесозаготовительных производств: учебное пособие [Текст] / А.Н. Заикин, Е.Г. Изюмова. Брянск: БГИТА, 2009. — 156 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. МППлес / Евельсон Л.И., Заикин А.Н., Изюмова Е.Г. № 2011618265.

**СТРУКТУРИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ  
О СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»  
С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ  
ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

***Евельсон Лев Игоревич***

*канд. техн. наук, профессор БГИТА,  
г. Брянск*

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

***Хандыго Валентина Геннадьевна***

*старший преподаватель, БГИТА,  
г. Брянск*

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

**STRUCTURIZATION OF INFORMATION  
REGARDING SYSTEM “WHEEL-RAIL”  
BY EXPERT SYSTEMS TECHNOLOGY**

***Lev Evelson***

*ph.D., Professor of Bryansk State Academy of Engineering and Technology,  
Bryansk*

***Valentina Khandygo***

*associated professor,  
Bryansk State Academy of Engineering and Technology,  
Bryansk*

**АННОТАЦИЯ**

На основе системного подхода рассматривается взаимодействие железнодорожного подвижного состава и пути. Проанализированы основные факторы, влияющие на взаимодействие колеса и рельса. Показаны возможности применения технологии экспертных систем для структурирования информации и результатов исследований и эксплуатации системы колесо-рельс.

**ABSTRACT**

A system approach is used for consideration of interaction between railway car and rail. The main factors influencing on the interaction

between wheel and rail had been concerned. Usabilities of the expert systems technology for ordering of information and experimental results regarding wheel-rail system.

**Ключевые слова:** колесо; рельс; факторы; коэффициент уверенности; трибодинамическое моделирование; информационное моделирование; экспертные системы.

**Keywords:** wheel; rail; factors; insurance coefficient; tribodynamic modeling; information modeling; expert systems.

Взаимодействию подвижного состава и рельсового пути, в частности колеса и рельса, ежегодно уделяется особое внимание. От правильного решения задач, связанных с проектированием, эксплуатацией, мониторингом и содержанием колес и рельсов, компонентов экипажа и пути, определяющих их работу, зависит безопасность движения поездов, величина затрат энергии на преодоление трения, надежность и долговечность подвижного состава и пути и другие показатели, имеющие большую экономическую составляющую. Естественно, что проблемы взаимодействия подвижного состава и рельсового пути многогранны и решение только небольшой их части позволит не только снизить огромные убытки от износа и усталостных повреждений, но и уменьшить вероятность схода с рельсов.

В данной предметной области проведено уже много исследований, в результате которых накоплено большое количество разнородной информации. Анализ показывает, что пока достичь удовлетворительного решения проблемы не удалось. Для решения практических задач, связанных с взаимодействием колеса и рельса необходимо применять системный подход, который охватывает все основные трибологические свойства взаимодействия пути и подвижного состава.

В соответствии с системным подходом происходит структурирование разнородной информации об элементах системы колесо-рельс и взаимосвязях между ними и на ее основе осуществляется формирование информационной модели системы колесо-рельс. В информационной модели описываются входы и выходы, управляемые и неуправляемые факторы и другая информация. В качестве входных параметров выступает информация о факторах, влияющих на триботехнические характеристики. Среди этих факторов, конструктивные особенности тележек, профили колес и рельсов, наличие смазки, влажность воздуха, наличие загрязнений и многие

другие. В зависимости от ситуации влияние факторов может проявляться в различной степени.

К внутрисистемным относят такие параметры как параметры пути и колесных пар подвижного состава, сочетание материалов и видов технологической обработки рельса и колес.

Для структурирования и дальнейшего использования накапливаемой информации на основе информационной модели строится информационная система.

Основным результатом ее работы, т. е. выходными параметрами, являются рекомендации, направленные на снижение износа и усталостной повреждаемости в системе колесо-рельс, обеспечение наименьшей вероятности схода подвижного состава с рельсов и достаточной силы тяги, а также выбор параметров материалов колеса и рельса.

Для построения адекватных моделей системы колесо-рельс традиционные методы математического моделирования часто недостаточны. Для решения данной проблемы надо применять современные методы исследования сложных систем, использующие, в сочетании с традиционными, также нечеткие математические модели и технологии искусственного интеллекта.

На основе выполненного анализа большого количества работ, направленных на выявление природы взаимодействия ходовой части железнодорожного подвижного состава и рельсового пути, было выделено свыше ста пятидесяти факторов, существенно влияющих на этот процесс. Присутствуют и количественные, и качественные факторы, которые приходится совместно учитывать в математических и компьютерных имитационных моделях.

Пример фрагмента списка факторов, влияющих на сцепление в системе колесо-рельс, созданного на основе анализа различных источников, представлен в таблице 1.

В результате анализа разнообразных информационных источников было сформировано более 700 правил типа «ЕСЛИ... ТО», заложенных в базу знаний. Правила были распределены по 30 группам в соответствии с основными факторами, наиболее сильно влияющими на выходные характеристики системы колесо-рельс.

Далее, для отдельного правила продукционной модели назначался коэффициент уверенности (КУ), определяемый по разработанной методике в зависимости от вида источника информации, характера входящих в правило факторов и т. д. КУ для составных правил определялись по Байесовской модели через КУ входящих в них простых правил.

*Таблица 1.*

**Фрагмента списка факторов, влияющих на сцепление  
в системе колесо-рельс**

<b>Факторы</b>	<b>Управ- ляемый</b>	<b>Неуправ- ляемый</b>	<b>Количест- -венный</b>	<b>Качест- -венный</b>
1. Скорость движения поезда	+		+	
2. Нагрузка колесной пары на рельс	+		+	
3. Осадки		+		+
4. Влажность воздуха		+	+	
5. Радиус кривых	+		+	
6. Ширина колеи	+		+	
7. Тип подвижного состава	+			+

К созданию информационной системы были поставлены следующие технические требования: модульность, процедурно-объектный подход, наличие визуальной библиотеки и большого количества типов данных, в том числе, возможность создание пользовательских типов данных.

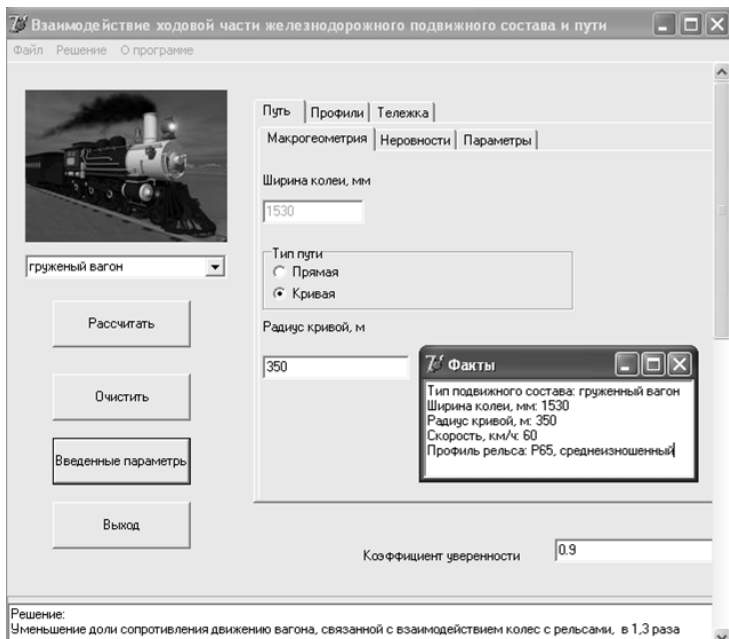
Были выбраны язык Pascal, среда разработки Delphi 7, которая удовлетворяет поставленным требованиям. Данное средство является визуальным, что заметно облегчает создание простого и понятного пользователю интерфейса и поддерживает как процедурный, так и объектный подход к программированию.

В качестве СУБД использовалась реляционная система управления базами данных MS Access.

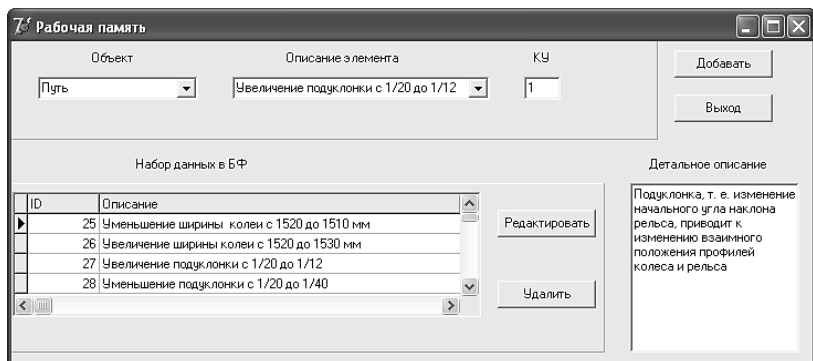
Пользовательский интерфейс, разрабатываемой системы обеспечивает реализацию информационной связи между пользователем и системой на всех этапах функционирования:

- Внесение новых и корректировка уже имеющихся правил, назначение коэффициентов уверенности;
- Вывод логических цепочек;
- Вывод итогового отчета по решенной задаче.

На начальном этапе пользователь вводит в систему факты, относящиеся к конкретной решаемой задаче. Для каждого введенного пользователем факта производится верификация. При положительном исходе он перемещается в рабочую память, где факту присваивается некоторое значение коэффициента уверенности. Соответствующие фрагменты интерфейса пользователя представлены на Рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1. Основное окно: результат работы программы**



**Рисунок 2. Фрагмент интерфейса верификации исходных фактов**

Таким образом, создана основа для продолжения работ по созданию и подготовке к внедрению интегрированной экспертной системы, которую можно будет применять совместно с САПР, представленными на российском рынке.

### **Список литературы:**

1. Евельсон Л.И., Захаров С.М., Памфилов Е.А., Рафаловская М.Я. Компьютерная технология анализа и синтеза узлов трения на основе баз данных и экспертных систем. / Л.И. Евельсон, С.М. Захаров, Е.А. Памфилов, М.Я. Рафаловская // Трение и износ. — 2000. — Т. 21. — № 4. — С. 380—385.
2. Евельсон Л.И., Хандыго В.Г. Информационная система для выбора материалов ходовой части железнодорожного подвижного состава // Информационные технологии, энергетика и экономика. Сборник трудов 8-ой Межрег. (Межд.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В.3 т. — Т. 1. — 2011. — С. 120—124.
3. Захаров С.М., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А. Анализ влияния параметров экипажа и пути на интенсивность износа в системе колесо-рельс (на основе полного факторного эксперимента). / С.М. Захаров, Д.Ю. Погорелов, В.А. Симонов// Вестник ВНИИЖТ. — 2010. — № 2. — С. 31—35.
4. Теоретические основы системного анализа. / Новосельцев В.И. и др.; под ред. Новосельцева В.И. М.: Майор, 2006. — 592 с.



**ОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА  
К ИННОВАЦИОННОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА**

***Клименко Елена Васильевна***

*канд. пед. наук, доцент, Тобольская государственная  
социально-педагогическая академия им. Д.И. Менделеева,  
г. Тобольск  
E-mail: [klimeva@yandex.ru](mailto:klimeva@yandex.ru)*

**FROM THE STUDENTS RESEARCH  
TO THE INNOVATIVE PROFESSIONAL ACTIVITY  
OF THE EXPERT**

***Klimenko Elena***

*candidate of pedagogic science, assistant professor, Tobolsk State Social  
and Pedagogical Academy named after D.I. Mendeleev,  
Tobolsk*

**АННОТАЦИЯ**

В статье означен опыт вовлечения обучающихся в сферу науки посредством создания открытого некоммерческого сообщества студентов, школьников и преподавателей. Определены направления работы объединения по выработке устойчивого стремления к решению конструкторских и творческих задач. Представлены условия развития исследовательских способностей при подготовке к последующей профессиональной деятельности.

**ABSTRACT**

In the following article we offer the implicating experience of the students to the realm of science. It makes the creation of the open noncommercial community of the students, pupils und professors. The community direction is a steady aspiration to the solving of design and creative tasks. The terms of the research capabilities' development are represented by the preparation to the professional activities.

**Ключевые слова:** интеграция обучающихся, научная мобильность студентов, популяризация современных достижений науки и техники.

**Keywords:** integration of the students, scientific mobility of the students, popularization's modern development of the science and technology.

Одной из определяющих особенностей современного общества является постоянное развитие. Специалисты в области обработки информации констатируют, что нынешнее поколение живёт в эпоху информационного взрыва. Объём информации, которым обладает человечество, удваивается в среднем каждые 22 месяца. Таким образом, постоянно расширяется и знание, которым обладает человечество. Поэтому профессионально успешным будет лишь тот специалист, который осознаёт значимость постоянного самосовершенствования и самообразования. Стремление к эффективному разрешению задач, возникающих в повседневной деятельности, будет адекватно реализовано лишь при определённой готовности к деятельности такого вида. Модернизация образования направлена на формирование профессиональной компетентности выпускника вуза в различных направлениях деятельности. Одним из аспектов такой подготовки будущего специалиста в педагогическом вузе является масштабное вовлечение обучающихся в сферу науки, образования и высоких технологий. Формирование приемов организации деятельности студентов по достижению заданных результатов может быть реализовано в рамках функционирования некоторого объединения.

Такой структурой в Тобольской государственной социально-педагогической академии является открытое некоммерческое сообщество студентов, школьников и преподавателей, объединённых совместной продуктивной научно-исследовательской, конструкторской деятельностью. Данное сообщество организовано в 2010 году и является постоянно действующим. Его деятельность определена Положением, принятом на Учёном Совете вуза. В этом документе означены цели, задачи, состав, структура и функции научно-исследовательского, конструкторского объединения «Тобольск-НИКОС».

Объединение оказывает содействие в реализации молодёжной политики в научно-исследовательской сфере, создает условия для развития исследовательских и конструкторских способностей, технического мышления и технологической культуры студентов, способствует укреплению партнерских связей между ТГСПА им. Д.И. Менделеева и сторонними организациями, представляет

интересы молодых исследователей на различных научно-технических, конкурсных и общественных мероприятиях.

Основной целью Объединения является создание организационных, материально-технических, кадровых, информационных, методических условий для максимального удовлетворения интеллектуальных потребностей участников. Задачами деятельности Объединения являются:

- интеграция обучающихся в профессиональные сообщества, повышение их профессиональных компетенций, развитие карьерных траекторий и профориентации на трудовых рынках;
- создание условий для улучшения качественного состава научных и научно-педагогических кадров, эффективной системы мотивации научного труда;
- развитие научной и социальной мобильности обучающейся молодежи;
- укрепление и технологическое обновление материально-технической базы Объединения, для решения более наукоемких задач и исследований.
- предоставление талантливой молодежи возможности публичной и открытой демонстрации своих навыков и личных качеств через систему конкурсных мероприятий по направлениям деятельности Объединения.
- популяризация и пропаганда достижений современной науки и техники среди школьников, студентов, преподавателей учебных заведений.

Деятельность Объединения организуется в рамках Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и ведется в следующих структурных подразделениях: сектор моделирования и программирования; сектор инновационного творчества «Робототехника»; сектор декоративно-прикладного творчества.

Каждое структурное подразделение в настоящее время реализует конкретные направления деятельности.

Например, сектор моделирования и программирования ориентирован на моделирование, программирование и реализация кластерной суперЭВМ на базе персональных компьютеров; выполнение расчетов, обработку данных, полученных в результате исследований, наблюдений, экспериментальной работы, в том числе, полученных сторонними структурами и организациями; проектирование и разработку программных средств для автоматизации профессиональной деятельности специалистов (базы данных,

информационные системы, информационные ресурсы в сети интернет, цифровые образовательные ресурсы и др.) [1, с. 36; 4, с. 44].

В свою очередь, сектор инновационного творчества "Робототехника" ориентирован на образовательную деятельность по робототехнике на базе специализированной лаборатории; работу с одаренными учащимися образовательных учреждений города и района по направлению «Общая робототехника», «Техническое творчество учащихся»; организацию презентаций и выставок технических разработок участников Объединения; организацию городских олимпиад школьников и студентов по робототехнике; организацию Региональных отборочных соревнований на Всероссийскую робототехническую олимпиаду студентов и школьников; подготовку школьников и студентов к участию во Всероссийской робототехнической олимпиаде «Робофест»; подготовку школьников, студентов, преподавателей к участию в федеральном учебно-тренировочном сборе и др.

Деятельность сектора декоративно-прикладного творчества реализует развитие знаний, умений и навыков практической работы в указанном направлении. Цели этого сектора научно-исследовательского, конструкторского объединения «Тобольск-НИКОС» реализуются посредством организации экскурсий на предприятия с целью развития профессиональных качеств студентов; организации стажировок студентов на предприятиях, в конструкторских бюро, научно-исследовательских институтах, научных центрах и т. д.; работы с одаренными учащимися образовательных учреждений города и района по направлению «Техническое творчество учащихся».

Число структурных подразделений может быть вариативно в соответствии с развитием деятельности Объединения. Для констатации результативности в работе в каждого сектора спланированы и регулярно проводятся презентации и выставки технических и творческих разработок участников Объединения. Для формирования навыков публичного выступления школьники, студенты и молодые ученые готовятся и успешно участвуют в научно-практических конференциях, конкурсах технического и прикладного творчества. Результаты исследований членов объединения регулярно представляются в сборниках конференций, форумов различного уровня (от вузовского до международного).

Членство в Объединении является добровольным и определяется выполнением какого-либо вида деятельности в рамках работы Объединения. Для реализации стратегии наставничества в состав Объединения входят студенты, школьники и кураторы из числа лиц профессорско-преподавательского состава ТГСПА им. Д.И. Менделеева,

имеющих высокую квалификацию и опыт работы со студенческой молодежью и школьниками. Взаимное проникновение в совместную работу участников различных возрастных категорий стимулирует разработку новых образовательных программ, организацию тьютерских курсов для студентов по работе с одаренными детьми [3, с. 16]; организацию и функционирование летних образовательных площадок и школ.

Преимуществом деятельности членов объединения и востребованность полученных результатов взаимодействием с реальными предприятиями, конструкторскими бюро, научно-исследовательскими институтами, научными центрами, лабораториями и другими аналогичными структурами посредством организации сотрудничества в формате стажировок молодых ученых, учебных и исследовательских практик, совместных проектов по решению актуальных проблем [2, с. 110].

Такая форма работы со школьниками, студентами и талантливой молодежью в педагогическом вузе позволяет объединить образовательную, воспитательную и исследовательскую функции. Достижения членов Объединения подтверждают правильность выбранной стратегии внедрения инноваций в образование. Объединение оказывает плодотворное содействие в реализации молодежной политики в научно-исследовательской сфере, создает условия для развития исследовательских и конструкторских способностей, технического мышления и технологической культуры студентов, способствует укреплению партнерских связей между ТГСПА им. Д.И. Менделеева и сторонними организациями, представляет интересы молодых исследователей на различных научно-технических, конкурсных и общественных мероприятиях.

### **Список литературы:**

1. Буслова Н.С., Клименко Е.В. Обучение программированию в процессе развития профессиональных компетенций студентов-информатиков // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2013. — № 9. — С. 36—37.
2. Клименко Е.В. Автоматизация расчёта энергозатрат на основе анализа временных рядов. // *Естественные и математические науки в современном мире*. — 2013. — № 10—11. — С. 107—111.
3. Клименко Е.В. Информационные технологии в профессиональной деятельности педагога. Теория и практика // *Международный журнал экспериментального образования*. — 2013. — № 9. — С. 16—17.
4. Клименко Е.В. О проблемах внедрения информационно-коммуникационных технологий в образование // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2013. — № 9. — С. 44—45.

# ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА Ж/Д ТРАНСПОРТЕ

*Петрусь Иван Павлович*

*аспирант,  
Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,  
г. Екатеринбург  
E-mail: [petrus\\_ivan@mail.ru](mailto:petrus_ivan@mail.ru)*

## CAPABILITIES OF THE WIRELESS OPTICAL TECHNOLOGY DATA TRANSFER IN RAILWAY TRANSPORT

*Ivan Petrus*

*graduate student, Ural State University of Railway Transport,  
Ekaterinburg*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье показана возможность практического использования технологии беспроводной оптической передачи данных на железнодорожном транспорте, как способ снижения убыточности пригородных пассажирских перевозок.

### ABSTRACT

This article illustrates possibility of practical using wireless technology optical data transmission in railway transport as a way to reduce the loss of commuter traffic.

**Ключевые слова:** беспроводные сети передачи данных; коммуникационная линия в видимом свете; светодиоды.

**Keywords:** wireless local area network; visible light communication; light-emitting diode.

Существование востребованной гражданами и прибыльной для перевозчика услуги подключения к сети интернет во время нахождения пассажиров поезда в пути не вызывает сомнения на сегодняшний день. С учётом убытков холдинга «Российские железные дороги» от пригородных пассажирских перевозок, которые

по данным их пресс-центра в 2013 году превысят 22 млрд. рублей [2], отрасль нуждается в способах повышения её доходности и сокращения её расходов. Так, например, возможность одновременной трансляции видео высокого разрешения всем пассажирам, которые находятся в одном вагоне электропоезда (или в купе, если речь идёт не о пригородных пассажирских перевозках), на их собственные мобильные устройства, являясь платной услугой, может повысить доходность пассажирских перевозок.

В этом на помощь нам может прийти не дорогое техническое решение, которое позволит реализовать эти сервисы качественно, а именно предоставить непрерывный доступ с большой пропускной способностью к сети беспроводной передачи данных внутри подвижного состава. Таким решением может быть построение локальных сетей при помощи инновационной VLC технологии (Visible Light Communication — коммуникационная линия в видимом свете), которая использует в роли передатчика данных светодиода видимого излучения.

VLC технология подразумевает использование видимого спектра электромагнитных волн в качестве среды передачи данных. VLC технологии известны уже давно, но сравнительно новой и показывающей высокие достижения стала её вариация с использованием светодиодов. Суть технологии VLC на светодиодах заключается в том, что при помощи модулятора светодиода в очень быстрой последовательности включаются и выключаются, таким образом, передавая данные в двоичном коде. Для человеческого глаза эти модуляции неуловимы, поэтому воспринимаются просто как сплошной поток света [5].

Иными словами такая лампа с массивом светодиодов способна освещать помещение и одновременно с этим передавать данные со скоростью до 800 Мбит/с на неограниченное число устройств находящихся в зоне достаточной освещённости, которая на сегодняшний день составляет 10 м<sup>2</sup>. Таких успехов в мае 2011 года добилась группа инженеров института телекоммуникаций Фраунгофера, института Генриха Герца (Fraunhofer Institute for Telecommunications, Heinrich Hertz Institute) (Берлин, Германия) [4].

При этом сам подвижной состав может получать доступ к сети интернет, например через ретрансляторы сигналов сотовой связи GSM/UMTS (репитеры) установленные вдоль пути следования поездов или через сигнал со спутника, что уже было успешно апробировано в конце 2012 года на направлениях Москва-Санкт-Петербург, Москва-Нижний Новгород, Москва-Хельсинки, Санкт-Петербург-Нижний

Новгород компанией ОАО «ФПК» (дочернее общество ОАО «РЖД») в кооперации с оператором сотовой связи «МегаФон» [3].

Отмечу, что аналогичная вариация технологии VLC с использование светодиодов для передачи данных была продемонстрирована в июне 2011 года немецким ученым, профессором университета Эдинбург (Великобритания) и почетным профессором университета Jacob's University города Бремен (Германия) Гарольдом Хаасом (Harald Haas) в рамках проекта D-Light. В котором были использованы микросветодиоды на основе нитрида галлия расположенные на матрице размером 16x16 мм, но им удалось достичь величины пропускной способности лишь 100 Мбит/с [5].

Дешевизна построения локальных сетей на светодиодах видимого излучения обусловлена тем, что хватает лишь дополнительных несколько компонентов для подготовки светодиодов так, чтобы они функционировали в качестве передатчиков данных. Само же использование ламп с массивом светодиодов, которые имеют больший срок службы и существенно более низкое энергопотребление по сравнению с традиционными лампами накаливания ведёт к повышению энергоэффективности и как следствие, к снижению денежных расходов на покупку энергоносителей. Низкие затраты также определены возможностью встраивания в существующую инфраструктуру, ведь осветительное оборудование присутствует в каждом пассажирском вагоне и в каждом купе. Достаточно установить лишь два светодиодных светильника с модуляторами для покрытия беспроводной оптической сетью передачи данных (WLAN) всего пассажирского вагона открытого типа.

Кроме того эксплуатация данной технологии не требует использования частот, занимаемых другими беспроводными технологиями передачи данных, поэтому она подходит для зон чувствительных к радиоволнам и не станет вмешаться в производственный процесс, в котором участвуют радиопередачи. Также она может быть использована в системах регулирования дорожного трафика для передачи данных между поездом и светофором.

При этом односторонняя передача данных не является существенной преградой для реализации технологии, в связи с тем, что с возможна комбинация её с технологией, например, PowerLAN (он же dLan — direct Lan или PLC — Power Line Communication, коммуникации по линии электропередач) для обратного направления, которая позволяет передавать данные по электросети. Не является преградой и необходимость размещения фотоприемника на принимающих устройствах пользователей (ноутбуках, коммуникаторах, планшетных ПК, смартфонах), в роли которого может выступить фотодиод.



Следует отметить, что препятствием может служить высокое влияние шумов, которые возникают из-за естественного и постороннего искусственного окружающего света, ограничивает использование технологии в хорошо освещаемых солнечным светом помещениях и на открытых пространствах. Наряду с этим не изучено влияние данной технологии на организм человека, хотя существуют исследования показывающие, что светодиодное освещение является наиболее комфортным для глаз, нежели иные способы искусственного освещения [1].

Совершенствование технологии изготовления светодиодов сделает их менее дорогостоящими и соответственно использование технологии менее затратной, а потребность в высокоскоростной передаче данных на пользовательские устройства, несомненно, возрастет, что подчёркивает ценность возможности её обеспечения на железнодорожном транспорте уже сегодня.

Положительный эффект от реализации данной технологии может поспособствовать её экспансии в других областях, в таких как автомобильный и авиакосмический транспорт, в медицинской сфере, а также для «общения» мобильных цифровых устройств.

### **Список литературы:**

1. Никифоров С.Д. Физические аспекты восприятия полупроводникового света человеческим глазом // Компоненты и технологии. — 2008. — № 89. — С. 84—94. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15143602> (дата обращения: 30.10.2013).
2. Пресс-центр ОАО «РЖД» Объемы пригородного сообщения в субъектах РФ, по которым проходит Московская железная дорога, будут приводиться в соответствие с оплаченным заказом [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE\\_ID=656&layer\\_id=4069&refererPageId=704&refererLayerId=4067&id=82876](http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=656&layer_id=4069&refererPageId=704&refererLayerId=4067&id=82876) (дата обращения: 30.10.2013).
3. Пресс-центр ОАО «РЖД» ОАО «ФПК» (дочернее общество ОАО "РЖД") внедряет беспроводной Интернет в поездах дальнего следования [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE\\_ID=654&layer\\_id=4069&id=80506](http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&id=80506) (дата обращения: 30.10.2013).
4. Anagnostis Paraskevopoulos Data are traveling by light [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2011/august/data-traveling.html> (дата обращения: 30.10.2013).
5. Harald Haas Wireless data from every light bulb [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://www.ted.com/talks/harald\\_haas\\_wireless\\_data\\_from\\_every\\_light\\_bulb.htm](http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.htm) (дата обращения: 30.10.2013).

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ АКМОЛИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕСА**

***Сейфуллина Асель Олжабаевна***

*магистр информатики, старший преподаватель  
КАТУ им. С. Сейфуллина,  
г. Астана  
E-mail: [assel812@mail.ru](mailto:assel812@mail.ru)*

***Жумабаева Айман Омирсериковна***

*магистрант Акмолинского университет технологии и бизнеса,  
г. Астана  
E-mail: [zhuparzhumabaeva@mail.ru](mailto:zhuparzhumabaeva@mail.ru)*

***Тунгышбайұлы Кендебай***

*магистрант  
Евразийского национального университет им. Л.Н. Гумилева,  
г. Астана  
E-mail: [kendebay@list.ru](mailto:kendebay@list.ru)*

**THE CREATING INTELLIGENT TUTORING SYSTEM  
FOR AKMOLINSKI UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGIES AND BUSINESS**

***Seifullina Assel***

*MSc of Computer Science, senior lecturer  
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical university, Astana*

***Zhumabaeva Aiman***

*postgraduate student of Akmolinski university of technologies and business,  
Astana*

***Tungyshbaiuly Kendebay***

*postgraduate student of L. Gumilyov Eurasian National university, Astana*

## АННОТАЦИЯ

Целью данного исследования является решение актуальной и практически значимой задачи по созданию интеллектуальной обучающей системы, обладающей свойствами интерактивности, адаптивности, индивидуальности. Методология исследования базируется на проведении опроса студентов и преподавателей. В результате разработана архитектура интеллектуальной обучающей системы, сочетающая в себе инструментарий эксперта для генерации задач и инструментарий студента для контроля знаний. Вследствие этого, была улучшена эффективность образовательного процесса примерно на 25 процентов.

## ABSTRACT

In the frame of the dissertation work we achieved to the goal, which represents a development intelligent tutoring system. There are created a great deal of the properties, such interactivity, adaptively and individuality. The methodology is based on the questioning of students and teachers. As a result of the research developed model of the intelligent tutoring system for the education process. Also after this effectively of the education process increased by over 25 per cent.

**Ключевые слова:** интеллектуальная обучающая система; база знаний; тьютор.

**Keywords:** intelligent tutoring system; knowledge base; tutor.

Развитие образовательной системы Казахстана эта одна из важных и приоритетных задач нашего государства и соответственно свою очередь развитие информационных технологий в сфере образования это немаловажно для всей страны.

Конечно, электронные учебно-методические пособия и средства обучения могут сыграть и играют весьма значительную роль в совершенствовании процесса обучения, однако если подумать, то можно прийти к единственно правильному мнению, что ни одна учебная программа не сможет заменить хорошего преподавателя и традиционный метод обучения, а также диалог. Но мнение, что преподаватель, в принципе, может прекрасно обходиться и без привлечения компьютерных средств, добиваясь при этом высокой эффективности обучения, ошибочно особенно в наше современное время. Повышение эффективности обучения при использовании качественных обучающих систем было подтверждено рядом исследований, где выделяются следующие позитивные факторы:

- индивидуализация обучения;

- интенсификация обучения;
- использование наглядных средств вычислительной техники, наличие средств моделирования объектов и процессов и т. п.;
- возможность контроля степени усвоения знаний [1, с. 25].

В связи с этим была сделана попытка построения своей уникальной системы, адаптированной для определенного учебного процесса. В первую очередь необходимо обратиться к теоретической стороне данного исследования. Необходимо отметить, что за основу была взята задача по созданию онтологической модели системы [2, с. 56].

Рассмотрев основные понятия онтологии, была построена схема функционирования онтологической модели интеллектуальной обучающей системы (Рисунок 1).



**Рисунок 1. Онтологическая модель ИОС**

На основе разработанной онтологической модели идея заключается в следующем, то есть получение знаний дистанционно, при этом после прохождения курса получение сертификата происходит только после того как администратор даст согласие на выдачу сертификат.

Интеллектуальность разработанной интеллектуальной обучающей системы заключается в следующем:

1. ИОС сама проводит первоначальное тестирование.

2. База знаний непосредственно сама генерирует 1,2, 3 уровни обучения и тестирование.

3. Администратор — преподаватель задействован только при подтверждении выдачи сертификата студенту.

Разработанная интеллектуальная обучающая система состоит из 5 основных компонентов, каждый из которых отвечает за свою часть функционирования системы:

1. Эксперт предметной области также называется базой экспертных знаний, то есть общая база знаний, которую накапливает администратор.

2. Модель студента - хранит информацию о том, как студент выполнял задания во время прохождения им учебной программы, которая далее будет представлена в виде диаграммы результатов, на основе которых администратор выдает сертификат.

3. Генератор траектории обучения, позволяет сформировать в зависимости от результатов сдачи вступительного тестирования программу обучения.

4. Менеджер тренировки — интерпретирует ответы студента в количество часов, на 1 уровне часов на изучение темы больше, чем на 4 уровне.

5. Пользовательский интерфейс - позволяет студенту общаться с ИОС в интеллектуальном режиме.

ИОС функционирует следующим образом, при этом система располагается в глобальной сети Интернет:

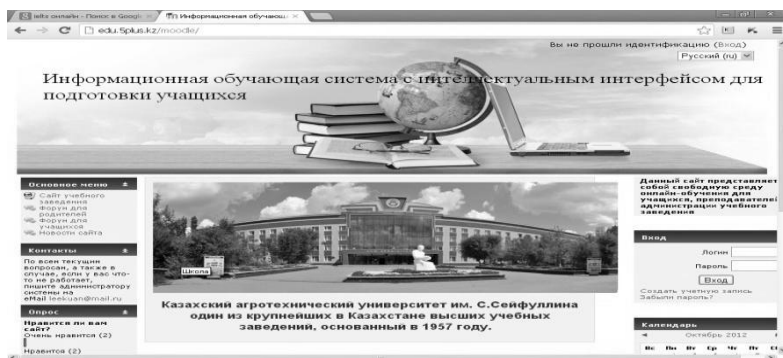
- Студент сдает вступительное тестирование.
- Система анализирует результаты предварительного тестирования определяет уровень студента.
- Менеджер тренировки определяет количество часов для изучения курса, здесь количество часов уменьшается от 1 до 4 уровня.
- Генератор создает траекторию обучения в зависимости от уровня.
- Студенческая модель принимает учебную программу в зависимости от уровня, который определен системой.
- После прохождения внутреннего 1 уровня ИОС проводит промежуточное тестирование и в зависимости от результатов переводит или не переводит на последующие внутренние уровни.
- Система определяет новый внутренний уровень для студента
- Процесс повторяется до тех пор, пока студент не достигнет верхнего внутреннего 3 уровня.

- Если студент проходит внутренний 3 уровень, то получают сертификат об успешном окончании обучения.

Дополнительная функция позволяет администраторам добавлять вопросы для экзаменов и материалы для обучения в базу знаний.

Таким образом, главными участниками системы являются администратор, студент, система и базы данных, которая содержит знания.

Средствами Moodle была построена интеллектуальная обучающая система, главное окно которой представлено в соответствии с рисунком 2.



**Рисунок 2. Внешний интерфейс ИОС**

В результате прохождения курса выдается сертификат, только в случае если преподаватель принял положительное решение (Рисунок 3).



**Рисунок 3. Сертификат об окончании курса**

Для реализации эксперимента была задействована группа 310 специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение» Акмолинского университета технологии и бизнеса.

Группа была разделена на 2 подгруппы, одна из которых изучала дисциплину «Программирование на алгоритмических языках» традиционно (далее — контрольная группа), другая подгруппа (далее) изучала предмет с использованием интеллектуальной обучающей системы.

Лекционный материал и задания по дисциплине были предварительно обсуждены с преподавателями также учитывался уровень группы, а именно, исследование проводилось в группе с примерно равной успеваемостью по всем предметам. Надо отметить, что преподаватели считают целесообразным проведение работ по различным предметам, где находят отражение междисциплинарные связи.

Основной особенностью было то, что занятия проводились дистанционно. Во время аудиторных занятий проводились практические занятия для большего закрепления материала.

Остановимся на экспериментальной группе, целью проведения первой части эксперимента является диагностика уровня каждого студента, выборка составила 10 человек.

В зависимости от полученных результатов вводного тестирования, у каждого студента определяется собственная траектория обучения по дисциплине. В соответствии со своей траекторией обучения каждый студент проходил дисциплину исходя из тех знаний, которые он знал до начала обучения.

К примеру, набравший 50% может начать обучение со 2 лекции и т. д. После прохождения каждой третьей части обучения студенты сдавали промежуточное тестирование, и только после успешной сдачи ИОС открывала доступ к следующим уровням. При этом обучение проходила дистанционно, согласно выделенным часам самостоятельной работы студента.

В результате после окончания обучения по дисциплине «Программирование на алгоритмических языках» в контрольной и экспериментальной группе были получены следующие результаты.

В результате реализации эксперимента были сделаны следующие положительные выводы:

- студенты не повторяли те темы, которые знали.
- студенты полноценно использовали свои часы самостоятельной работы студента.

- за счет дистанционного обучения посредством ИОС студенты получили больше часов на выполнение практических занятий.

- преподаватель дистанционно проводил проверку посредством ИОС.

- студенты для успешного завершения курсы были вынуждены изучить все темы.

- посредством ИОС проводился промежуточный контроль знаний студентов.

Таким образом, приходим к логическому заключению, что основная цель компьютерных технологий это подготовить молодое поколение к жизни в информационном обществе, где значительный удельный вес занимают различные виды деятельности по обработке информации и ведущее место во всех отраслях производственной и научной деятельности принадлежит подобным технологиям; повысить эффективность образовательного процесса путем внедрения средств информатизации, к которым в первую очередь принадлежит компьютер [3, с. 84].

### **Список литературы:**

1. Абдулин В.Н. Структуризация учебного материала при составлении обучающих программ для АОС //Автоматизированные обучающие системы. Межвузовский сборник. Казань: КГУ, 1979. — 25 с.
2. Василевский Ю.А. Влияние видов деятельности на прочность запоминания //Экспресс-информ. НИИ ВШ. Сер. Обучение в высшей и сред.спец. школе. — Вып. 8, — 1980. — 56 с.
3. Denson, Paul E. & Gail E. Dennison. Edu-Kinesthetics In-Depth, The Seven Dimensions of Intelligence. Ventura. CA: Educational Kinesiology Foundation, 1990. — 84 с.



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ  
ВЕБ-СЕРВИСОВ  
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЗАДАЧ РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Якубайлик Олег Эдуардович*

*канд. физ.-мат. наук, с.н.с. ИВМ СО РАН,  
г. Красноярск*

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

**USING WEB MAPPING SERVICES  
FOR INFORMATION SUPPORT CHALLENGES  
OF REGIONAL MANAGEMENT**

*Oleg Yakubailik*

*candidate of Science, Senior researcher, Institute of Computational  
Modelling, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
Krasnoyarsk*

**АННОТАЦИЯ**

Рассматриваются актуальных задачи и направления в разработке программно-технологического обеспечения, решение которых может заметно повысить эффективность выполняемых работ по созданию прикладных региональных геоинформационных систем, обеспечить тиражируемость отдельных компонент между различными системами.

**ABSTRACT**

We consider the current problems and trends in the software development and technological support, the solution of which can significantly improve the efficiency of works on creation of regional applications of geographic information systems, to ensure the replicability of the individual components between different systems.

**Ключевые слова:** веб-сервис, геопортал, веб-картография, создание архива геоданных, веб-ГИС, пространственные метаданные.

**Keywords:** web service, geo-portal, web mapping, spatial data archive, web GIS, spatial metadata.

Одной из ведущих тенденций в развитии геоинформационных систем в последние годы стала их глубокая интеграция с технологиями Интернет. Нужно отметить, что представления о том, какой должна быть эта интеграция постоянно меняются, уточняются. Представление о картографическом веб-сайте как об относительно простом средстве для визуализации интерактивной карты и/или мозаики спутниковых изображений было преобладающим несколько лет назад. Сегодня обычно рассматривают более сложные модели информационных систем. Как правило, говорят о геопорталах и комплексных картографических веб-приложениях, инфраструктуре пространственных данных, сервисах и обработках геоинформации в распределенной среде. Также вносят свой вклад в развитие постоянно возрастающие возможности популярных социальных сетей и сервисов облачных вычислений, появление доступных картографических пространственных данных, в том числе — спутниковых снимков высокого разрешения [3, 4].

Эти тенденции не остаются без внимания научно-исследовательских институтов, органов государственной и муниципальной власти. Во многих странах мира, в том числе и в России, начали ставить и решать задачи формирования информационной инфраструктуры пространственных данных, интеграции разнородных ресурсов. Информационно-вычислительной и программно-технологической основой этих масштабных задач как раз и являются рассматриваемые технологии — гибриды Интернет и веб-сервисов, ГИС и баз данных, Data mining и OLAP, и проч. [1].

Картографические веб-сервисы и основанные на них приложения становятся все более популярными и востребованными на ведомственном уровне. Накопленный за последние несколько лет опыт взаимодействия с региональными органами власти позволяет с уверенностью утверждать, что программно-технологические решения, построенные на основе упомянутых подходов, могут заметно повысить эффективность деятельности ведомств, и вывести ее на новый уровень, при должной организационной поддержке [4].

Будем рассматривать технологии картографических веб-сервисов как системообразующий элемент программного обеспечения распределенных прикладных информационно-аналитических систем регионального уровня. Анализ возможностей существующего программных систем и тенденций в развитии технологий в рассматриваемой предметной области позволил выделить несколько актуальных задач и направлений в разработке программно-технологического обеспечения, решение которых может заметно повысить эффективность выполняемых работ по созданию при-

ладных региональных геоинформационных систем, обеспечить тиражируемость отдельных компонент между различными системами. Было выделено четыре основных блока:

- Подсистема ведения архива базовых геопространственных данных.

Должна обеспечивать организацию хранения и управления данными, средства для их загрузки и удаления, резервного копирования, и т. п. Должна быть предусмотрена возможность регистрации в архиве внешних баз данных, в т. ч. — пространственных, с организацией прозрачного доступа к ним, через единый программный интерфейс — т. е. пользователь, который получает данные из архива базовых геопространственных данных не обязан знать, откуда именно берутся геоданные — из размещенного на этом же сервере shp-файла или через подключение к стороннему серверу ArcGIS.

- Система прикладных программных (картографических) веб-сервисов.

Предполагается создание набора средств для различного доступа к данным, организации запросов к ним, в том числе — на основе стандартных отраслевых протоколов/интерфейсов типа широко используемых открытых стандартов консорциума OGC — картографических веб-сервисов WMS, WFS, и т. п. Также должна быть предусмотрена возможность организации ресурсоемких вычислений на стороне сервера — сегодня существует несколько альтернативных решений в данном направлении — WPS (web processing service) консорциума OGC, и проч.

- Подсистема управления пространственными метаданными.

Предназначена прежде всего для поиска и навигации по имеющимся пространственным данным, в том числе — с помощью пространственных запросов. Подсистема должна предусматривать возможность работы с различными классификаторами данных, быть совместимой с существующими стандартами на метаданные, допускать соответствующий импорт/экспорт. Основа подсистемы — каталог метаданных — должен обеспечивать весь комплекс задач управления/администрирования метаданными. Предполагается глубокая интеграция со всеми прочими рассматриваемыми здесь компонентами региональной геоинформационной системы.

- Региональный геопортал.

Геопортал — централизованный веб-интерфейс с инструментами навигации и поиска по метаданным, соответствующей визуализации и загрузки географической информации, доступа к имеющимся

прикладным веб-сервисам. Его можно рассматривать как разработанное в веб-интерфейсе приложение, которое объединяет указанные выше три подсистемы, предоставляет конечному пользователю информацию об имеющихся пространственных данных и способам доступа к ним. Также предполагается, что геопортал обладает собственными средствами визуализации пространственных (картографических) данных, с развитыми средствами интерактивного формирования картографического представления. Очень важно, что в качестве пользователей портала могут выступать также сторонние приложения, работая через веб-сервисы. Также следует отметить возможности персонального раздела портала — предполагается, что пользователь должен иметь возможность формирования собственных производных наборов данных, по аналогии с принципом организации «корзины» Интернет-магазина, с сохранением данных в персональном разделе портала «Мои документы».

Обобщая приведенные здесь характеристики четырех программных компонент региональных геоинформационных систем, хотелось бы отметить, что в той или иной степени все перечисленные функции присутствуют в любой региональной геоинформационной системе. Как правило — это составные части одной разработки. Однако формальное разделение этих составных частей в самостоятельные подсистемы и/или приложения представляется весьма целесообразным [2].

Представленное логическое разделение региональной ГИС на перечисленные компоненты, формализация интерфейсов ввода/вывода данных между ними может заметно улучшить многие характеристики — повысить эффективность процесса создания и поддержания системы за счет декомпозиции одной «сложной» системы в несколько «простых», облегчить тиражируемость ее элементов в новые разработки, и проч., в соответствии с модульным принципом разработки программного обеспечения. Эти элементы становятся как бы «кирпичиками» для новых прикладных информационных систем, в этом отличительная их особенность.

Практика разработки ряда прикладных региональных ГИС позволила сформулировать некоторые особенности реализации веб-сервисов геопортала, которые представляются важными, если мы рассматриваем геопортал не только как самодостаточную систему, а также как тиражируемый элемент/компонент для сторонних геоинформационных приложений.

Перейдем к содержательному описанию реализованной системы веб-сервисов, которые могут служить основой для построения

прикладных геоинформационных систем. Можно выделить два типа веб-сервисов:

- Служебные сервисы.

Модульная архитектура разработки региональной геоинформационной системы и позиционирование ее компонент как «кубиков» для других веб-приложений сформировала необходимость строгой формальной спецификации информационного обмена между компонентами. В результате был сформирован набор веб-сервисов для приема/передачи данных внутри системы. Например, модуль «Геоортал» с помощью реализованного в нем интерфейса пользователя для поиска данных формирует запрос в «Каталог метаданных» для получения информации. Далее — подсистема «Каталог метаданных» обращается к модулю «Архив геоданных» для получения списка сервисов определенного типа. Ограничения в доступе к служебным сервисам связаны с тем, что с их помощью можно много чего сделать, и в том числе — нарушить работоспособность системы в целом (при неумелом использовании). Именно поэтому доступ к ним ограничен разработчиками.

- Публичные сервисы.

В отличие от упомянутых выше служебных сервисов — эти сервисы являются публично доступными. Их рекомендуется использовать в сторонних разработках. Технологически они практически не отличаются от служебных, но нарушить работоспособность системы они не могут. С содержательной точки зрения — преимущественно речь идет об информационных сервисах. К их числу относятся сервисы предоставления картографической основы, геокодирования, поиска кратчайшего маршрута, водотока по речной сети, и ряд других.

### **Список литературы:**

1. Кадочников А.А. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов / А.А. Кадочников [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. — 2008. — Т. 1. — № 4. — С. 377—386.
2. Якубайлик О.Э. Геоинформационная Интернет-система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник СибГАУ. — 2010. — Т. 1(27). — С. 40—45.
3. Якубайлик О.Э. Геоинформационный Интернет-портал // Вычислительные технологии. — 2007. — Т. 12. — Вып. 3. — С. 116—125.
4. Якубайлик О.Э. Технологии для геоинформационных Интернет-систем / О.Э. Якубайлик, В.Г. Попов // Вычислительные технологии. — 2009. — Т. 14. — № 6. — С. 116—126.

### СЕКЦИЯ 3.

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕДНЕПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ В РЕЖИМЕ СТАЦИОНАРНОГО ПОВОРОТА

*Копылов Семен Юрьевич*

*аспирант кафедры «Автомобилестроение»,  
филиала Южно-Уральского государственного университета (НИУ),  
г. Миассе*

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

*Трояновская Ирина Павловна*

*профессор, д-р техн. наук,  
профессор кафедры «Колёсные, гусеничные машины и автомобили»,  
Южно-Уральского государственного университета (НИУ),  
г. Челябинск*

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

### MATHEMATICAL MODEL OF MOTION FRONT WHEEL DRIVE CAR MODE FIXED ROTATION

*Semen Kopylov*

*graduate student of automobile production department, branch of South  
Ural State University (NR), Miass*

*Irina Troyanovskaya*

*professor, Doctor of Technical Sciences, professor of "Wheel, tracked  
vehicles and cars" departments, South Ural State University (NR),  
Chelyabinsk*

## АННОТАЦИЯ

Цель: построение математической модели движения переднеприводного автомобиля в режиме стационарного поворота на основе математической теории трения. Результат расчёта: параметры поворота автомобиля через неизвестные координаты мгновенных центров скольжения (МЦС) опорных площадок колес. Вывод: применение данного метода позволяет оценить влияние конструктивных параметров автомобиля, его схемы управления на характеристики криволинейного движения.

## ABSTRACT

Purpose: to construct a mathematical model of the motion front wheel drive car in a stationary mode, turn on the mathematical theory of friction. The result of the calculation: the parameters of the car turn through the unknown coordinates of instantaneous centers of sliding, the bearing surfaces of the wheels. Conclusion: The application of this method to evaluate the influence of design parameters of the vehicle and its control scheme on the performance of curvilinear motion.

**Ключевые слова:** модель движения, стационарный поворот, переднеприводный автомобиль, центры скольжения.

**Keywords:** motion model, a fixed rotation, front-drive car, the centers of sliding.

Для изучения движения автомобиля на повороте чаще всего используются модели на основе теории бокового увода [6]. Эти модели нашли широкое применение при описании машин с межколесными дифференциалами, движущимися практически без скольжения колес.

Однако, для учета скольжения колес по грунту предлагается применить методику моделирования криволинейного движения тракторных агрегатов, где любое транспортное средство (ТС) рассматривается как управляемый объект, криволинейное движение которого определяется наложенными на него связями, обеспечиваемыми конструкцией и системой управления [5].

С грунтом ТС (автомобиль) взаимодействует посредством плоских площадок, число которых равно числу колес (4 пятна контакта). В каждом контакте возникают силы и момент трения ( $T_{y_i}$ ,  $T_{x_i}$ ,  $M_i$ ), являющиеся функциями координат  $(x_i, y_i)$  мгновенных центров скольжения (МЦС) [3]:

$$T_{xi} = -\varphi \frac{G_i}{a_i b_i} \int_{-\frac{a_i}{2}}^{\frac{a_i}{2}} \int_{-\frac{b_i}{2}}^{\frac{b_i}{2}} \frac{y_i - \eta}{\sqrt{(x_i - \zeta)^2 + (y_i - \eta)^2}} d\zeta d\eta \quad (1)$$

$$T_{yi} = \varphi \frac{G_i}{a_i b_i} \int_{-\frac{a_i}{2}}^{\frac{a_i}{2}} \int_{-\frac{b_i}{2}}^{\frac{b_i}{2}} \frac{x_i - \zeta}{\sqrt{(x_i - \zeta)^2 + (y_i - \eta)^2}} d\zeta d\eta \quad (2)$$

$$M_i = \varphi \frac{G_i}{a_i b_i} \int_{-\frac{a_i}{2}}^{\frac{a_i}{2}} \int_{-\frac{b_i}{2}}^{\frac{b_i}{2}} \sqrt{(x_i - \zeta)^2 + (y_i - \eta)^2} d\zeta d\eta \quad (3)$$

где:  $G_i$  — вес, приходящийся на  $i$  колесо, кг;

$\varphi$  — коэффициент сцепления колеса с дорогой;

$a_i, b_i$  — длина и ширина пятна контакта  $i$  колеса, соответственно, мм.

Ширина колеса ( $b_i$ ) практически не меняется с нагрузкой ( $G_i$ ) [1], поэтому ее берём из стандартного обозначения шины. Длину следа можно рассчитать по теореме Пифагора:

$$a_i = 2\sqrt{r_{cvi}^2 - r_{di}^2} \quad (4)$$

где:  $r_{cvi} = D_i/2$  — свободный радиус  $i$  колеса, мм;

$r_{di} = r_{cvi} - h_i$  — динамический радиус  $i$  колеса (с учётом прогиба  $h_i$ ), мм.

Поскольку прогиб колеса зависит от его конструктивных параметров ( $b_i, D_i$ ), внутреннего давления в шине ( $\rho$ ) и вертикальной нагрузки на колесо ( $G_i$ ):

$$h_i = \frac{G_i}{\pi \rho \sqrt{bD}} \quad (5)$$

где:  $\rho$  — среднее давление в шине, КПа;

$b_i$  — ширина  $i$  колеса, мм;

$D_i$  — внешний диаметр  $i$  колеса, мм,

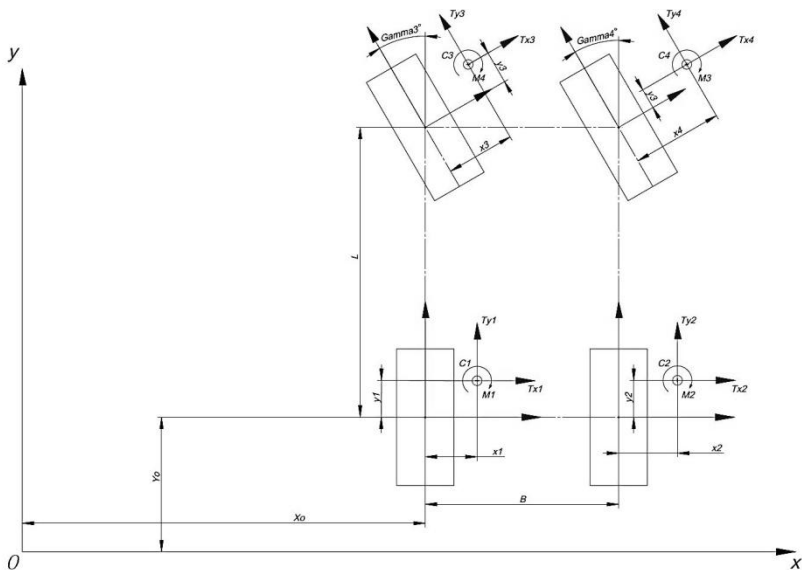
то подставив значения радиусов и прогиба в формулу (4) получаем следующее выражение длины следа:

$$a_i = 2\sqrt{\frac{D_i^2}{4} - \left(\frac{D_i}{2} - h_i\right)^2} = 2\sqrt{D_i h_i - h_i^2} \quad (6)$$

Для позиционирования МЦС введем следующие системы координат:

- общая система для всего ТС, с началом в центре поворота ( $X_0, Y_0$  — координаты заднего внутреннего колеса в общей системе);
- четыре местные системы для каждой опорной площадки, с началом координат в геометрическом центре следа ( $x_i, y_i$  — координаты МЦС в местных системах координат).





**Рисунок 1. Расчётная схема поворота ТС**

Запишем координаты МЦС всех колес в общей системе координат, связав тем самым общую и местные системы координат (рисунок 1):

$$x_{c1} = x_0 + x_1, y_{c1} = y_0 + y_1, \quad (7)$$

$$x_{c2} = x_0 + B + x_2, y_{c2} = y_0 + y_2, \quad (8)$$

$$x_{c3} = x_0 + x_3 \cos \gamma_3 - y_3 \sin \gamma_3, y_{c3} = y_0 + L + x_3 \sin \gamma_3 + y_3 \cos \gamma_3, \quad (9)$$

$$x_{c4} = x_0 + B + x_4 \cos \gamma_4 - y_4 \sin \gamma_4, y_{c4} = y_0 + L + x_4 \sin \gamma_4 + y_4 \cos \gamma_4, \quad (10)$$

где:  $B, L$  — колея и продольная база, соответственно;

$\gamma_3, \gamma_4$  — углы поворота передних управляемых колес относительно корпуса.

Составим систему уравнений криволинейного движения произвольного ТС.

Три уравнения движения для стационарного поворота (криволинейного движения с постоянной угловой скоростью и радиусом поворота) имеют вид [5]:

$$-m\omega^2 y_0 = T_{x1} + T_{x2} + T_{x3} \cos \gamma_3 - T_{y3} \sin \gamma_3 + T_{x4} \cos \gamma_4 - T_{y4} \sin \gamma_4 \quad (11)$$

$$-m\omega^2 x_0 = T y_1 + T y_2 + T x_3 \sin \gamma_3 + T y_3 \cos \gamma_3 + T x_4 \sin \gamma_4 - T y_4 \cos \gamma_4 \quad (12)$$

$$0 = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 - T y_1 x_{c1} - T y_2 x_{c2} - T y_3 \sqrt{x_{c3}^2 + y_{c3}^2} - T y_4 \sqrt{x_{c4}^2 + y_{c4}^2} \quad (13)$$

где:  $m$  — масса ТС, кг;

$\omega$  — угловая скорость движения ТС.

При вращательном движении скорость любой точки корпуса перпендикулярна радиус-вектору, опущенному из центра поворота машины [4]. Поскольку в МЦС скольжение отсутствует, то скорость корпуса над этой точкой равна теоретической скорости, которая направлена всегда вдоль плоскости вращения колеса. На основе этого можно записать уравнения геометрических связей, отражающих то, что МЦС площадок контакта колес лежат на перпендикулярах, опущенных из центра поворота на плоскости вращения колес [2]:

$$\tan \gamma_3 = y_{c3} / x_{c3} \quad (14)$$

$$\tan \gamma_4 = y_{c4} / x_{c4}. \quad (15)$$

Для задних колес (углы поворота относительно корпуса равны нулю):

$$y_{c1} = 0 \quad (16)$$

$$y_{c2} = 0 \quad (17)$$

Еще три уравнения кинематических связей описывают взаимодействие узлов трансмиссии и рулевого управления. Так для переднеприводного автомобиля наличие межколесного дифференциала на передней оси характеризует равенство крутящих моментов, что при равных радиусах колес соответствует равенству тяговых усилий:

$$T y_3 = T y_4 \quad (18)$$

Поскольку задние колеса являются ведомыми, то на них отсутствуют тяговые усилия, что можно записать в виде:

$$T y_1 = 0 \quad (19)$$

$$T y_2 = 0 \quad (20)$$

С учетом выражений (1—3) уравнения (18—19) приобретают вид [КД]:

$$x_1 = 0 \text{ и } x_2 = 0$$

В случае дополнительного торможения задним внутренним колесом уравнение (18) заменяется на (при полном торможении МЦС колеса совпадает с центром поворота всей машины):

$$x_{c1} = 0 \tag{21}$$

В результате решения системы уравнений 10 уравнений (11—20) с учетом выражений силовых факторов (1—3) и преобразования координат (7-10) получим неизвестные координаты МЦС всех колес ( $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ ) и центра поворота ( $x_0, y_0$ ). Используя эти значения можно найти все основные параметры поворота:

1. Силы и моменты действующие в пятне контакта (формулы 1—3),

2. Буксование каждого колеса

$$\delta_i = x_i / \sqrt{x_{ci}^2 + y_{ci}^2} \tag{22}$$

3. Радиус поворота ТС по наиболее удаленному колесу:

$$R = \sqrt{(x_0 + B)^2 + (y_0 + L)^2} \tag{23}$$

Возможность отражать схему управления путем замены уравнений связи позволяет проводить сравнительный анализ машин с различными типами трансмиссий. Использование уравнений преобразования (7—10) позволяет отслеживать влияние конструктивных параметров на характеристики криволинейного движения машины. В следующей статье автор приведёт пример расчёта криволинейного движения ТС в режиме стационарного поворота с заторможенным задним внутренним колесом. Изучение такого движения даёт возможность контролируемого применения тормозных усилий на колесах с целью увеличения манёвренности автомобиля.

### **Список литературы:**

1. Мицын Г.П. Стационарный поворот минитрактора (экспериментальные результаты) / Г.П. Мицын и др. / Сборник научных трудов МАДИ (ТУ): Проблемы проектировании, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, М.: МАДИ, 2001, — с. 233—237.
2. Позин Б.М. Кинематические соотношения при взаимодействии движителя с грунтом при повороте / Б.М. Позин, И.П. Трояновская / Вестник ЮУрГУ, серия машиностроение, вып. 7, № 14(54), Челябинск: ЮУрГУ. 2005 — с. 93—96.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг / М.: Высшая школа, 1986. — 416 с.
4. Трояновская И.П. Взаимодействие колесного движителя с грунтом на повороте с точки зрения механики / И.П. Трояновская / Тракторы и сельскохозяйственные машины, — № 3, — 2011, — с. 29—35.
5. Трояновская И.П. Методология моделирования криволинейного движения тракторных агрегатов: дисс. ... доктора технических наук / И.П. Трояновская / Челябинск: ЮУрГУ, 2011. — 296 с.
6. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин / М.: Машиностроение, 1970. — 176 с.

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ  
АМОРТИЗАТОРОВ АВТОМОБИЛЕЙ  
ПО ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ**

*Парфеньева Ирина Евгеньевна*

*канд. техн. наук, доцент МГМУ (МАМИ)*

*г. Москва*

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

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL  
OF FUNCTIONING OF HYDRAULIC SHOCK  
ABSORBERS OF CARS  
ON THE ACCURACY PARAMETERS**

*Parfenyeva Irina*

*candidate of Technical Science, Associate Professor of MG MU (MAMI),*

*Moscow*

**АННОТАЦИЯ**

Разработана модель функционирования двухтрубных гидравлических амортизаторов автомобилей, описывающая рабочий процесс в амортизаторе на ходе отдачи и ходе сжатия. Получены числовые значения коэффициентов влияния функциональных параметров гидравлических амортизаторов с клапанами дискового типа, найденные аналитическим способом. Определен допуск на усилие сопротивления гидравлических амортизаторов конкретного типа.

**ABSTRACT**

Developed a functioning model of double-tube hydraulic shock absorbers hire describing workflow in a shock-absorber in the course of bestowal and the compression. Obtained numerical values of the coefficients of functional parameters of hydraulic shock absorbers with valves disk type, found in an analytical way. Defined tolerance resistance force hydraulic shock-absorbers of a particular type.

**Ключевые слова:** гидравлические амортизаторы автомобилей, математическая модель функционирования, коэффициенты влияния

функциональных параметров, расчет допуска на усилие сопротивления гидравлических амортизаторов.

**Keywords:** hydraulic shock absorbers hire, mathematical model of functioning, the influence coefficients of functional parameters, calculation of the admission of the drag force hydraulic shock absorbers.

Математическая модель функционирования гидравлических амортизаторов (далее ГА) по точности параметров должна позволять рассчитывать допуски (предельные отклонения) усилия сопротивления ГА по допускам (предельным отклонениям) функциональных параметров амортизатора.

Представим математическую модель функционирования ГА по показателю усилия сопротивления в виде

$$y = f(x), \quad (1)$$

где:  $y$  — выходная характеристика (усилие сопротивления) ГА;

$x$  — функциональные параметры, определяющие усилие сопротивления;

$f$  — функционал преобразования, обусловленный видом конкретной зависимости.

В работе [4] получена базовая математическая модель гидравлической и тепловой структуры системы ГА, которая позволяет получить рабочие модели функционирования амортизаторов межотраслевого назначения, а также амортизаторов, отличающихся по своей конструкции (двухтрубные, однотрубные) и принципам действия (гидравлические, пневматические и др.). На основе полученной базовой модели функционирования ГА разработана рабочая модель функционирования двухтрубных гидравлических амортизаторов автомобилей, описывающая рабочий процесс в амортизаторе на ходе отдачи (далее индекс «о») и ходе сжатия (далее индекс «с») в виде

$$\begin{aligned} Q_o &= Q_{1o} + Q_{2o} + Q_{3o} + Q_{4o} \\ Q_c &= Q_{1c} + Q_{3c} + Q_{4c}, \end{aligned}$$

где:  $Q$  — суммарный расход жидкости;

$Q_1$  — расход жидкости через радиальный зазор шток-направляющая;

$Q_2$  — расход жидкости через радиальный зазор поршень-цилиндр;

$Q_3$  — расход жидкости через дроссельные отверстия;

$Q_4$  — расход жидкости через клапанные отверстия.

Используя зависимости расхода жидкости через элементы дросселирующей системы амортизатора [1], получим зависимости вида

$$\begin{aligned}
 F_{\text{во}} V_{\text{по}} &= \frac{\pi d_{\text{ш}} S_1^3}{12 \mu l_1} \psi' \Delta p_o + \frac{\pi d_{\text{п}} S_2^3}{12 \mu l_2} \psi' \Delta p_o + \\
 &+ \mu_{\text{д}} f_{\text{до}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_o} + \mu_{\text{кл}} f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_o} \quad , \\
 F_{\text{вс}} V_{\text{пс}} &= \frac{\pi d_{\text{ш}} S_1^3}{12 \mu l_1} \psi' \Delta p_c + \mu_{\text{д}} f_{\text{дс}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_c} + \mu_{\text{кл}} f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_c}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где:  $F_{\text{в}}$  — площадь вытеснителя, м<sup>2</sup>;  $F_{\text{во}} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2)$ ;  $F_{\text{вс}} = \frac{\pi}{4} d_{\text{ш}}^2$ ;

$V_{\text{п}}$  — скорость относительного перемещения поршня, м/с;

$d_{\text{ш}}$  — диаметр штока, м;

$d_{\text{п}}$  — диаметр поршня, м;

$S_1$  — радиальный зазор шток-направляющая, м;

$S_2$  — радиальный зазор поршень-цилиндр, м;

$l_1$  — активная длина направляющей, м;

$l_2$  — активная длина поршня, м;

$\mu$  — динамический коэффициент вязкости жидкости, Нс/м<sup>2</sup>;

$\psi'$  — коэффициент, учитывающий эксцентричное расположение поршня и направляющей;

$\mu_d$  — коэффициент расхода жидкости через дроссельные отверстия;

$\mu_{кл}$  — коэффициент расхода жидкости через клапанные отверстия;

$f_d$  — площадь проходного сечения дроссельного отверстия, м<sup>2</sup>;

$f_{кл}$  — площадь проходного сечения клапанного отверстия, м<sup>2</sup>;

$\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta p$  — перепад давления жидкости, МПа.

Величина площади проходного сечения дроссельного и клапанного отверстия  $f_d$  и  $f_{кл}$  будет зависеть от конструкции клапана ГА.

Решив уравнения (2) относительно перепада давления жидкости, можно перейти к усилию сопротивления ГА

$$P_o = \Delta p_o F_{во} \qquad P_c = \Delta p_c F_{вс} .$$

Для описания изменения выходной характеристики в окрестности номинальных значений функциональных параметров используют разложение функции в ряд Тейлора с последующей линеаризацией в области относительно небольших отклонений (допусков) функциональных параметров от номинальных значений. В результате для расчета допуска на усилие сопротивления ГА получается известная формула теории точности [5]

$$T_y = \frac{1}{K_y} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 K_i^2 T x_i^2 + 2 \sum_{i=j}^m \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{\partial y}{\partial x_j} K_i K_j T x_i T x_j r_{ij}} , \qquad (3)$$

где:  $T_y$  — допуск на усилие сопротивления ГА;  $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ ,  $\frac{\partial y}{\partial x_j}$  —

коэффициенты влияния  $i$ -го и  $j$ -го функциональных параметров на усилие сопротивления ГА;

$T x_i$ ,  $T x_j$  — допуск  $i$ -го и  $j$ -го функциональных параметров;



$K_i, K_j$  — коэффициенты рассеяния  $i$ -го и  $j$ -го функциональных параметров;

$r_{ij}$  — коэффициент корреляции  $i$ -го и  $j$ -го функциональных параметров;

$n$  — число функциональных параметров;

$m$  — число попарно коррелятивно связанных функциональных параметров.

Коэффициенты влияния функциональных параметров можно определять разными способами:

1. аналитически, когда частные производные находятся по правилам дифференцирования.
2. способом малых приращений по формуле

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\Delta x_i}. \quad (4)$$

Формулы для расчета коэффициентов влияния функциональных параметров ГА с клапанами дискового типа, найденные аналитическим способом, приведены в работах [2,3], их числовые значения на различных участках характеристики указаны в табл. 1.

*Таблица 1.*

**Коэффициенты влияния функциональных параметров ГА на усилие сопротивления**

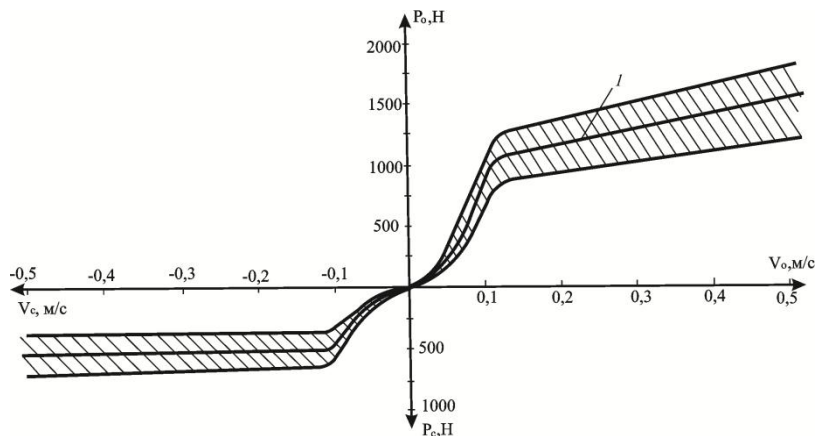
Параметры амортизатора	Ход сжатия		Ход отдачи	
	дроссельный режим $V_{\Pi} = 0,06$ м/с	клапанный режим $V_{\Pi} = 0,52$ м/с	дроссельный режим $V_{\Pi} = 0,06$ м/с	клапанный режим $V_{\Pi} = 0,52$ м/с
Диаметр штока $d_{\text{ш}}$	65	73	-32	-64
Диаметр поршня $d_{\text{п}}$	—	—	67	138
Зазор шток-направляющая $S_1$	-1348	-1170	-3387	-225

Зазор поршень-цилиндр $S_2$	—	—	-1870	-1328
Диаметр дроссельного отверстия клапана отдачи $d_o^o$	—	—	-130	-37
Толщина дроссельного диска клапана отдачи $\delta_1^o$	—	—	-4354	-1360
Наружный радиус седла клапана отдачи $r_1^o$	—	—	—	-42
Ход клапана отдачи $W_o$	—	—	—	-4570
Диаметр дроссельного отверстия клапана сжатия $d_o^c$	-100	-1092	—	—
Толщина дроссельного диска клапана сжатия $\delta_1^c$	-2601	-1176	—	—
Внутренний радиус седла клапана сжатия $r_o^c$	—	6	—	—
Ход клапана сжатия $W^c$	—	-1471	—	—

В числе факторов, определяющих качество ГА, не рассматривались свойства рабочей жидкости. С точки зрения управления качеством ГА вид рабочей жидкости и ее свойства не варьируются, а принимаются заданными для конкретного вида жидкости (в данном случае масло АЖ-12Т).

При расчете допуски на усилие сопротивления по формуле (3) допуски размеров деталей ГА брались из нормативно-технической документации, а допуски на ход клапанов определялись расчетом.

Результаты расчета допуска на усилие сопротивление ГА (ГАЗ-24 передний, конструкция 1989 г.) для случая симметричного расположения поля допуска относительно номинального значения усилия сопротивления представлены на рис. 1. Числовые значения допусков при различных значениях скорости поршня приведены в табл. 2.



**Рисунок 1. Характеристика сопротивления ГА (1) и поле допуска на усилие сопротивления (заштрихованная область)**

**Таблица 2.**

**Значения допусков на характеристику сопротивления ГА (числитель — абсолютные значения, Н; знаменатель — % от номинального значения усилия сопротивления)**

ХОД ОТДАЧИ						
Скорость поршня м/с	0,03	0,06	0,09	0,20	0,35	0,52
Допуск	$\frac{21,3}{29,6}$	$\frac{104,0}{38,2}$	$\frac{271,1}{46,3}$	$\frac{468,0}{39,0}$	$\frac{491,1}{37,0}$	$\frac{526,0}{35,0}$
ХОД СЖАТИЯ						
Скорость поршня м/с	0,03	0,06	0,09	0,20	0,35	0,52
Допуск	$\frac{10,7}{26,5}$	$\frac{44,0}{28,0}$	$\frac{103,5}{30,1}$	$\frac{240,2}{59,5}$	$\frac{246,6}{59,4}$	$\frac{254,0}{59,4}$

В последние годы в связи с развитием вычислительной техники для моделирования технических процессов широко стал применяться метод статистических испытаний (Монте-Карло).

Метод статистических испытаний состоит в компьютерной имитации изучаемых процессов при помощи моделирования случайных величин. Идея метода состоит в том, что строится вероятностная модель реального процесса, затем с помощью датчиков случайных чисел проводят большое число испытаний, в которых моделируется поведение исследуемой системы. Результат испытания зависит от значения некоторой случайной величины, распределенной по заданному закону. Поэтому результат каждого отдельного испытания также носит случайный характер. Проведя серию испытаний, получают множество частных значений наблюдаемой характеристики (выборку). Полученные статистические данные обрабатываются и представляются в виде численных оценок интересующих исследователя величин (характеристик системы).

Для решения рассматриваемой задачи методом статистических испытаний необходимо исследовать законы распределения функциональных параметров амортизаторов.

#### **Список литературы:**

1. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. — 199 с.
2. Самокаев В.И., Шебашева И.Е. Оптимизация допусков размеров элементов дросселирующей системы гидравлического амортизатора // Известия ВУЗов. Машиностроение. — 1981. — № 6. — С. 102—105.
3. Самокаев В.И., Шебашева И.Е. Оптимизация допусков функциональных размеров элементов телескопических амортизаторов // Известия ВУЗов. Машиностроение. — 1983. — № 4. — С. 44—48.
4. Шебашева И.Е., Никифоров А.Д. К разработке математической модели оптимизации параметров гидравлических амортизаторов автомобилей// Известия ВУЗов. Машиностроение. — 1985. — № 7. — С. 79—84.
5. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.

**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ  
ПРОДОЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КАВИТАЦИОННЫХ  
УСТРОЙСТВ**

*Прохасько Любовь Савельевна*

*канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет),  
г. Челябинск  
E-mail: [prokhaskols@mail.ru](mailto:prokhaskols@mail.ru)*

*Ярмаркин Дмитрий Александрович*

*студент ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный  
университет» (национальный исследовательский университет),  
г. Челябинск  
E-mail: [k21447@mail.ru](mailto:k21447@mail.ru)*

**TO THE QUESTION OF DETERMINATION  
OF THE LONGITUDINAL SIZES  
OF HYDRODYNAMIC CAVITATIONAL DEVICES**

*Lubov Prokhasko*

*candidate of engineering sciences, associate professor  
of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

*Dmitry Yarmarkin*

*student of South Ural State University (national research University),  
Chelyabinsk*

**АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены некоторые аспекты математической модели рабочего процесса гидродинамического кавитационного устройства со скачком давления. Уравнения, позволяющие определить протяженность критического участка с бурным двухфазным течением, переходящим в спокойное дозвуковое в скачке давления. Длина критического участка определяет протяженность рабочей камеры кавитационного устройства.

## ABSTRACT

Some aspects of mathematical model of working process of the hydrodynamic cavitation device with pressure jump are considered. The equations, allowing to determine the extent of a critical site with the rapid two-phase current passing to quiet subsonic in pressure jump. Length of a critical site determines the extent of the working camera of the cavitation device

**Ключевые слова:** кавитация; сверхзвуковое течение; дозвуковое течение; скачок давления; двухфазная среда.

**Keywords:** cavitation; supersonic stream; subsonic stream; pressure jump; two-phase environment.

Известны гидродинамические кавитационные устройства, рабочий процесс которых основан на создании сверхзвукового течения двухфазного потока, переходящего в дозвуковой режим в скачке давления [1—9]. Задача расчета сводится к определению размеров устройства, отвечающим минимальным потерям давления и, следовательно, минимальному энергопотреблению. При этом важны как поперечные, так и продольные размеры, ибо выбор поперечных размеров обусловлен разгоном двухфазного потока до критических скоростей и формированием сверхзвукового двухфазного потока. Выбор продольных размеров предопределен положением скачка давления в проточной части устройства. Завышение этих размеров приводит к увеличению материалоемкости и дополнительным затратам энергии, занижение — к неэффективной работе устройства.

В общем случае скорости движения жидкости и пара (газа) в гидродинамическом кавитационном устройстве различны. Вследствие этого данные по расходу среды, геометрии канала и физическим свойствам жидкости и газа (пара) еще не дают достаточно полного представления о гидродинамике потока. Поэтому для характеристики двухфазного потока необходимо вводить величины, учитывающие особенности движения отдельных фаз.

Параметром, характеризующим состояние потока, является число Маха. При критическом состоянии потока число Маха  $M=1$ , при сверхзвуковом течении  $M > 1$ , при дозвуковом течении  $M < 1$ . Критическое состояние потока соответствует минимуму удельной энергии сечения. Давление, соответствующее минимуму удельной энергии сечения, называется критическим  $P_k$ . В зависимости от соотношения действительного  $P$  и критического  $P_k$  давлений в газожидкостном потоке его энергетическое состояние может быть бурным сверхзвуковым  $P < P_k$ , спокойным дозвуковым  $P > P_k$

или критическим  $P=P_k$ . Переход потока из одного состояния в другое возможен только в скачке давления.

Организация течения двухфазного потока со скачком давления предполагает значительную протяженность рабочей камеры. Математическое описание рабочего процесса гидродинамического кавитационного устройства целесообразно выполнить на основе гомогенной равновесной модели, которая предполагает следующие допущения: жидкая и парогазовая фазы находятся в тепловом и механическом равновесии (температуры и скорости фаз равны); фазы равномерно распределены одна в другой; двухфазная среда изотропна. Этого можно достичь применением многоструйного сопла, которое формирует несколько высокоскоростных струй, в пограничных слоях которых в центрах низкого давления турбулентных вихрей возникает кавитация. Таким образом, многоструйное сопло обеспечивает устойчивый процесс кавитационных явлений, а также равномерное формирование компонентов двухфазного потока по живому сечению. В этих условиях коэффициент скольжения близок к единице, а двухфазное течение может рассматриваться как течение квазиоднородной изотермической (гомогенной) среды.

Критическое давление потока можно определить по уравнению [5, 10]:

$$y = (\psi \cdot x)^2 \frac{x+1}{\psi \cdot x+1}, \quad (1)$$

где:  $x$  и  $y$  — безразмерные координаты:

$$x = \frac{P}{\mu \cdot R \cdot T_{жс} \rho_{жс}}; \quad y = \frac{(Q_{жс})^2}{A^2 \mu \cdot R \cdot T_{жс}}. \quad (2)$$

Здесь  $P$  — давление в сечении потока;

$\mu$  — отношение массовых долей газа (пара) и жидкости;

$R$  — газовая постоянная;

$T_{жс}$  — температура жидкой фазы;

$\rho_{жс}$  — плотность жидкой фазы;

$Q_{жс}$  — объемный расход жидкой фазы;

$A$  — площадь сечения потока.

Для определения длины рабочей камеры кавитационного устройства необходимо рассчитать критическую длину  $l_k$  с бурным

двухфазным потоком, в концевом сечении участка которой достигается критическое состояние потока (давление  $P=P_k$ ). Для этого можно использовать уравнение [3, 8], интегрирование которого позволит рассчитать критическую длину и, тем самым, определить длину рабочей камеры [3, 8]:

$$\frac{dP}{dl} = - \frac{\rho_{жс} \cdot g \cdot (Q_{жс})^2 \cdot (1 + \alpha)}{(A \cdot \sqrt{\frac{8g}{\lambda}})^2 \cdot R \cdot (1 - M^2)}, \quad (3)$$

где:  $A$  — площадь живого сечения потока;  
 $R$  — гидравлический радиус;  
 $\lambda$  — коэффициент гидравлического трения;  
 $l$  — протяженность участка с бурным двухфазным потоком;  
 $M$  — число Маха.

### Список литературы:

1. Кондратьева А.В. Новые технологии обработки молочной продукции (на примере молока коровьего питьевого) / Кондратьева А.В., Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Асенова Б.К., Залилов Р.В. // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 146—149.
2. Лиходумова М.А. Инновационные технологии водоподготовки для производства слабо- и безалкогольной продукции / Лиходумова М.А., Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Асенова Б.К., Залилов Р.В. // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — С. 159—161.
3. Патент РФ № 99105906/12, 10.11.2000. Спиридонов Е.К., Прохасько Л.С., Боковиков В.С., Валиев А.Х. Смеситель кавитационного типа // Патент России № 2158627. 1999. Бюл. № 31.
4. Патент РФ. Прохасько Л.С., Ребезов М.Б., Зинина О.В., Залилов Р.В., Мазаев А.Н, Асенова Б.К., Ярмаркин Д.А. Смеситель кавитационного типа для жидких пищевых сред // Патент России № 2013117605. 2013. Решение о выдаче патента 11.09.2013 (патент на публикации).
5. Прохасько Л.С. Гидродинамика и расчет кавитационных смесителей непрерывного действия: Автореф. дис. канд. техн. наук Пермь, 2000. — 20 с.
6. Прохасько Л.С. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред / Л.С. Прохасько, М.Б. Ребезов, Б.К. Асенова, О.В. Зинина, Р.В. Залилов, Д.А. Ярмаркин // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2013. — Т. 7. — № 2. — С. 62—67.



7. Прохасько Л.С. Гидродинамическая кавитационная технология обработки пищевых сред / Л.С. Прохасько, В.А. Евдокимов // Наука. Образование. Молодежь: мат. научн.-практ. конф., посв. 55-летию АТУ Алматы, 2012. — С. 256—257.
8. Прохасько Л.С. Расчет кавитационных устройств для обработки жидких пищевых сред / Л.С. Прохасько, Р.В. Залилов, Я.М. Ребезов // Техника и технология пищевых производств: мат. IX междунар. науч.-технич. конф. Могилев, 2013. — С. 260.
9. Прохасько Л.С. Применение гидродинамических кавитационных устройств для процессов водоочистки / Л.С. Прохасько // Международная научно-практическая конференция «Чистая вода — 2009»: сб. науч. тр. Кемерово, 2009. — С. 460—464.
10. Спиридонов Е.К. Теоретические основы расчета и проектирования жидкостногазовых струйных насосов: Автореф. дис. доктора техн. наук. М., 1996. — 30 с.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Скоробогатова Татьяна Николаевна*

*канд. техн. наук, зав. кафедрой*

*«Управление и информатика в технических системах»,*

*доцент Балаковского института техники, технологии и управления,*

*Саратовская область, г. Балаково*

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

## **RESULTS OF MODELLING INTENSE CONDITIONS OF THE BLADE OF THE STEAM TURBINE METHOD FINAL ELEMENTS**

*Skorobogatov Tatyana Nikolaevna*

*cand. Tech. Sci., the department chair "Management and informatics*

*in the technical systems", associate professor of the Balakovo institute*

*of equipment, technology and management,*

*Saratov region, Balakovo*

## АННОТАЦИЯ

Целью моделирования является получение значений деформационных нагрузок в случайно заданных точках для каждой выделенной области. Моделирование проводится методом конечных элементов, позволяющим получить значения нагрузок с достаточной точностью. Полученные результаты исследований позволяют определить места наиболее нагруженных участков лопасти и могут быть использованы для разработки новых методов проектирования конструкций лопастей паровых турбин.

## ABSTRACT

The purpose of modeling is obtaining values of deformation loadings in casually set points for each allocated area. modeling is carried out by a method of the final elements, allowing to receive values of loadings with a sufficient accuracy. The received results of researches allow to define places of the most loaded sites of the blade and can be used for development of new methods of design of designs of blades of steam turbines.

**Ключевые слова:** деформационные нагрузки, метод конечных элементов, рабочая лопасть, паровая турбина, трехмерная модель, рабочее давление, деформация, напряжение по Мизесу.

**Keywords:** deformation loadings, method of final elements, the working blade, the steam turbine, three-dimensional model, working pressure, deformation, tension according to Mises.

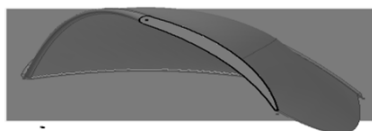
Моделирование является основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемым для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности.

Целью исследований является детальное моделирование распределения деформационных нагрузок по лопасти паровой турбины атомной станции. Согласно теории моделирования, можно рассмотреть множество вариантов предшествующих событий, но полностью избежать поломок лопаток все — равно не удастся, существуют факторы старения материала, изменение щелочного состава пара, но имеется возможность свести к минимальным значениям внешние распределенные нагрузки на лопасть турбины [4, с. 212].

В данном применении метода конечных элементов используется треугольный конечный элемент с десятью степенями свободы. Выбор данного конечного элемента обусловлен в основном тем, что он дает наибольшую точность при относительной своей простоте [2, с. 21].

В ходе исследований построена модель лопасти паротурбины и произведено наложение треугольной сетки для дальнейшего расчета нагрузок при помощи пакета программ систем автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. Функционал программы позволяет проектировать, визуализировать и моделировать различные трехмерные объекты в цифровой среде. В результате получается так называемый «цифровой прототип», свойства которого полностью соответствуют свойствам будущего физического прототипа вплоть до характеристик материалов [3, с. 128].

На рисунках 1—2 представлена трехмерная модель лопасти.

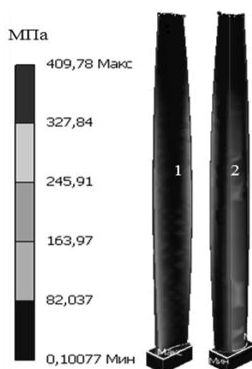


*Рисунок 1. Лопасть гидротурбины*

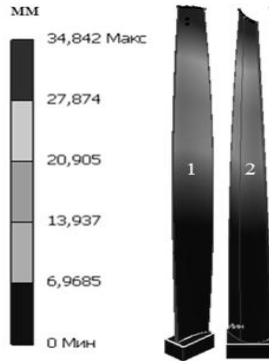


*Рисунок 2. Лопасть гидротурбины, вид сверху*

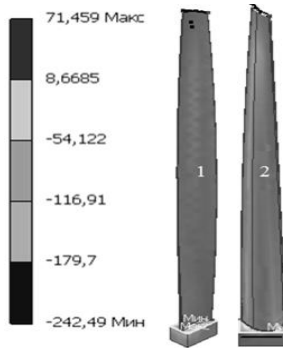
Проведено моделирование нагрузок имеющейся модели лопасти паротурбины при помощи пакета Ansys. Результаты моделирования представлены ниже.



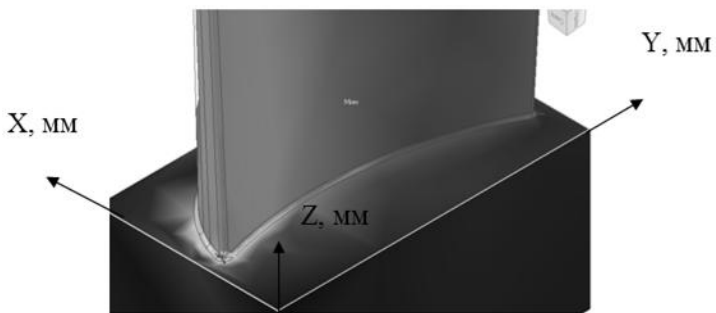
*Рисунок 3. Эквивалентное напряжение на лопастях при рабочем давлении*



*Рисунок 4. Деформация лопасти при рабочем давлении*



*Рисунок 5. Главное минимальное напряжение лопасти при рабочем давлении*



*Рисунок 6. Напряжение по Мизесу, корневое сечение*

В таблице 1 приведены значения деформационных нагрузок в случайно заданных точках для каждой области. В таблице 2 приведены значения главных максимальных нагрузок в случайно заданных точках для каждой области.

**Таблица 1.**

**Деформация лопасти турбины**

Область	Координаты по осям			Величина деформации, (мм)
	X, мм	Y, мм	Z, мм	
1	2	3	4	5
1	36,935	-10,462	1432,5	5010,2
	-2,1155	-41,162	1367,6	4443,4
	5,895	-27,67	1240,7	3689,7
	20,71	-11,306	1114,3	2994,3
	-5,1318	-42,561	995,19	2284,6
2	45,723	8,393	858,86	1750,2
	-3,8736	-35,76	1440,5	4902,2
	17,928	-11,781	1326,1	4262,0
	-12,391	-47,53	1198,9	3352,9
	37,781	0,4782	1194,4	3516,3
	-1,0288	-17,727	1056,5	2636,6
	-13,588	-34,178	866,26	1684,9

**Таблица 2.**

**Главное максимальное напряжение лопасти турбины**

Область	Координаты по осям			Величина напряжения, МПа
	X, мм	Y, мм	Z, мм	
1	2,2932	-37,583	1425,8	456930000
	33,862	-8,2179	1336,2	947920000
	-1,7995	-36,675	1156,8	4744700000
	-7,1039	-47,449	964,43	9865900000
	39,391	6,5015	735,97	10514000000
	-5,5196	-70,648	629,33	22458000000
2	9,3964	-19,113	1376,7	111750000
	-5,0674	-29,263	1232,5	189190000
	29,464	0,4715	1066,7	1451200000
	-14,873	-38,887	860,28	1250900000
	0,22366	-9,4074	685,6	69902000
	22,609	5,08	583,56	513980000

Исследуемая лопасть рабочего колеса изготовлена из стали 15X11МФ-Ш, предел прочности которой  $\sigma_{\text{в}}=75$  кгс/мм<sup>2</sup> [1, с. 314].

В результате расчетов получены картины нагрузок, на которых можно определить области максимальных напряжений. При заданной трехмерной модели, толщина пера лопасти которой изменяется от 15 до 40 мм, а длина составляет 1450 мм лопасть обладает максимальным напряжением, возникшим от давления пара на лопасть паровой турбины, в области соединения пера с хвостовиком  $\sigma \approx 45,47$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Также в результате расчетов были получены картины, на которых можно определить минимальное главное напряжение, эквивалентное напряжение, деформацию и коэффициент запаса прочности. Из картин видно, что максимальное главное напряжение на лопасти турбины при заданных габаритах не превышает предела прочности стали  $\sigma_{\text{в}}=75$  кгс/мм<sup>2</sup>, минимальное значение коэффициента запаса прочности при этом составляет 0,67, это свидетельствует о том, что лопасть выдерживает приходящиеся на нее нагрузки и разрушение ее материала не происходит [1, с. 315].

По уровню напряжений и вибраций, полученных при испытании на установившихся и переходных режимах, как основные узлы, так и вся турбина в целом являются достаточно надежными. Наиболее нагруженной зоной в лопасти являются — корневое сечение. В этой зоне среднее напряжение в лопасти равно 35 кгс/мм<sup>2</sup>. При полном разгоне до 1500 об/мин в лопасти рабочего колеса можно ожидать небольшие увеличения напряжений, которые, однако, не являются опасными ввиду высоких прочностных характеристик материала этих деталей. Из модели видно что наибольшее напряжение лопасть испытывает в области соединения пера с хвостовиком, особенно в краевых местах сопряжения, что вызвано упрощением трехмерной модели лопасти, и по краям пера.

### **Список литературы:**

1. Бойко А.В., Гаркуша А.В. Аэродинамика проточной части паровых и газовых турбин: расчеты, исследования, оптимизация, проектирование. Харьков, ХГПУ, 1999. — 390 с.
2. Норри Д.А., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981. — 305 с.
3. Применение системы Ansys к решению задач механики сплошной среды. Под ред. А.К. Любимова. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского Университета, 2006. — 227 с.
4. Скоробогатова Т.Н. Результаты моделирования распределения нагрузок по лопасти паровой турбины. Информационные технологии, системы автоматизированного проектирования и автоматизации: сборник научных трудов III Всероссийской научно-технической конференции. Саратов: СГТУ, 2011.

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
ЗУБОДОЛБЕЖНОГО СТАНКА  
ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ  
С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ ЗУБА**

***Хусаинов Рустем Мухаметович***

*канд. техн. наук, доцент Набережночелнинского института  
(филиала) Казанского (Приволжского) Федерального Университета,  
г. Набережные Челны  
E-mail: [rmh@inbox.ru](mailto:rmh@inbox.ru)*

***Хазиев Рустам Ринатович***

*аспирант Набережночелнинского института  
(филиала) Казанского (Приволжского) Федерального Университета,  
г. Набережные Челны  
E-mail: [khazus@rambler.ru](mailto:khazus@rambler.ru)*

**THE KINEMATIC STRUCTURE OF  
THE GEAR SHAPING MACHINE  
FOR CUTTING GEAR WREATH WITH VARIABLE  
THICKNESS OF THE GEAR TOOTH**

***Khusainov Rustem Muhametovich***

*candidate of Science, assistant professor  
of the branch Kazan State University in Naberezhnye Chelny,  
Naberezhnye Chelny*

***Khaziev Rustam Rinatovich***

*phD student of the branch Kazan State University in Naberezhnye Chelny,  
Naberezhnye Chelny*

**АННОТАЦИЯ**

В статье предлагается принципиальная схема универсального зубодолбежного станка для нарезания зубчатых колес с переменной толщиной зуба внешнего и внутреннего зацепления.

**ABSTRACT**

The article deals with the concept of the universal shaping gear machine for machining gears (outer and inner engagement) with variable thickness of gear tooth.

**Ключевые слова:** зубодолбежный станок, зубчатое колесо.

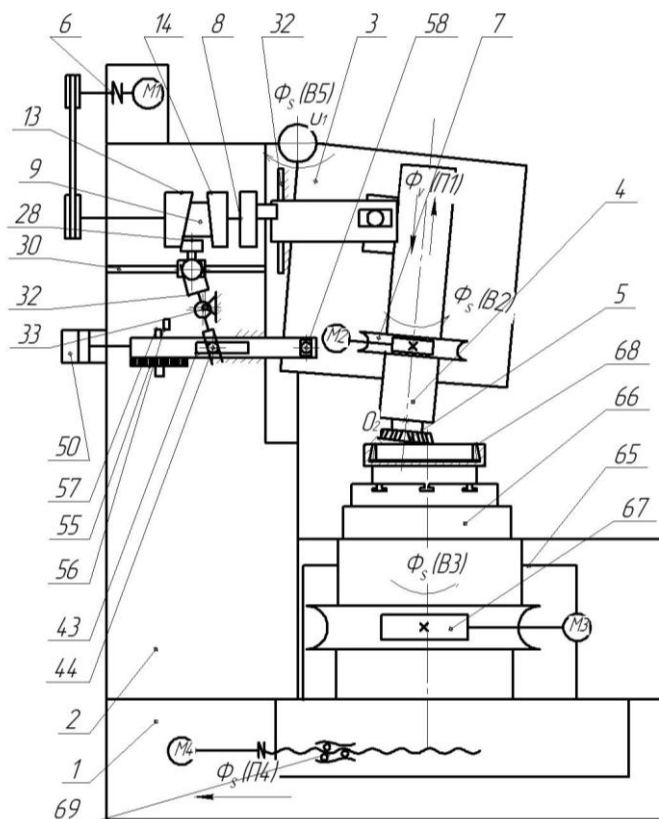
**Keywords:** gear shaping machine, gear.

В коробках передач автомобилей часто применяют сцепные зубчатые муфты. Зубья этих муфт выполняются с некоторым занижением по длине — поднутрением, которое представляет собой изменение толщины зуба по длине. Наличие поднутрения обеспечивает надежность сцепления муфт. Для обеспечения правильного контакта зубьев полумуфт важно обеспечить постоянство угла поднутрения по длине зуба.

Поднутрение при изготовлении зубчатых венцов выполняется, как правило, на зубодолбежных станках [2], [1]. Концептуальная схема станка, работающего по предлагаемому методу, выглядит следующим образом (рис. 1).

Зубодолбежный станок содержит станину 1, стойку 2, суппорт 3 с инструментальным шпинделем 4, в котором крепится долбяк 5 [2, с. 58—59]. Инструментальный шпиндель совершает возвратно-поступательное главное движение от привода, включающего кулисный механизм 8, и движение непрерывной круговой подачи. Суппорт 3 совершает вспомогательное качательное движение необходимое для отвода долбяка от заготовки при холостом ходе шпинделя 4 и подвода долбяка к заготовке при рабочем ходе шпинделя 4. На станине 1 также находятся стол 66, совершающий движение радиальной подачи. На столе 66 устанавливается шпиндель изделия с заготовкой 68, совершающий вращательное движение, согласованное с движением круговой подачи инструментального шпинделя.





**Рисунок 1. Кинематическая схема зубодолбежного станка**

При нарезании колес с переменной по длине толщине зубьев во время рабочего хода долбяка суппорт 3 поворачивается вокруг горизонтальной оси в сторону заготовки 68, совершая тем самым движение врезания вдоль линии, соединяющей оси долбяка и заготовки, что обеспечивает уменьшение толщины нарезаемого зуба в направлении от верхнего к нижнему торцу заготовки.

Движение врезания выполняется от кулачкового механизма 9, жестко соединенного с приводом главного движения, через рычаг 32, имеющий возможность регулирования передаточного отношения посредством смещения оси рычага 33, тягу 43, соединенную с суппортом 3 при содействии гидроцилиндра 50, производящего поджим рычага к кулачку. Конечная величина угла поворота суппорта

зависит от степени изменения толщины нарезаемого зуба по высоте и регулируется изменением передаточного отношения рычага при неизменном кулачке.

Соединение рычага с тягой выполнено с возможностью перестановки по длине последней, что дает возможность настройки на исходный угол поворота суппорта при переходе на обработку зубчатого колеса с другими параметрами.

Кулачковый механизм содержит два кулачка, один из которых (14, рис. 1) предназначен для обработки колес с постоянной, а другой 13 — с переменной по длине толщиной зуба. С одним из кулачков 13 или 14 взаимодействует ролик 28, установленный на каретке, перемещающейся по направляющей 30. На каретке установлен ролик, взаимодействующий с одним из плеч рычага 32. Второе плечо рычага 32 связано с роликом, который связан с тягой 43 через соединение 44.

Перемещение рычага между кулачками производится посредством гидроцилиндра 50. Кулачки имеют симметричные профили рабочего и холостого участков, вследствие чего могут применяться при обработке зубчатых колес как внешнего, так и внутреннего зацепления. Переналадка на нарезание колес внешнего или внутреннего зацепления производится путем проворота вала, на котором находится кулачковый механизм, на половину оборота при зафиксированном кулачковом механизме.

При нарезании колес с постоянной по длине толщиной зубьев суппорт совершает движение поворота только во время холостого хода, отводя долбяк от заготовки для предотвращения износа долбяка.

Управление движениями можно осуществить за счет электронных связей между приводами.

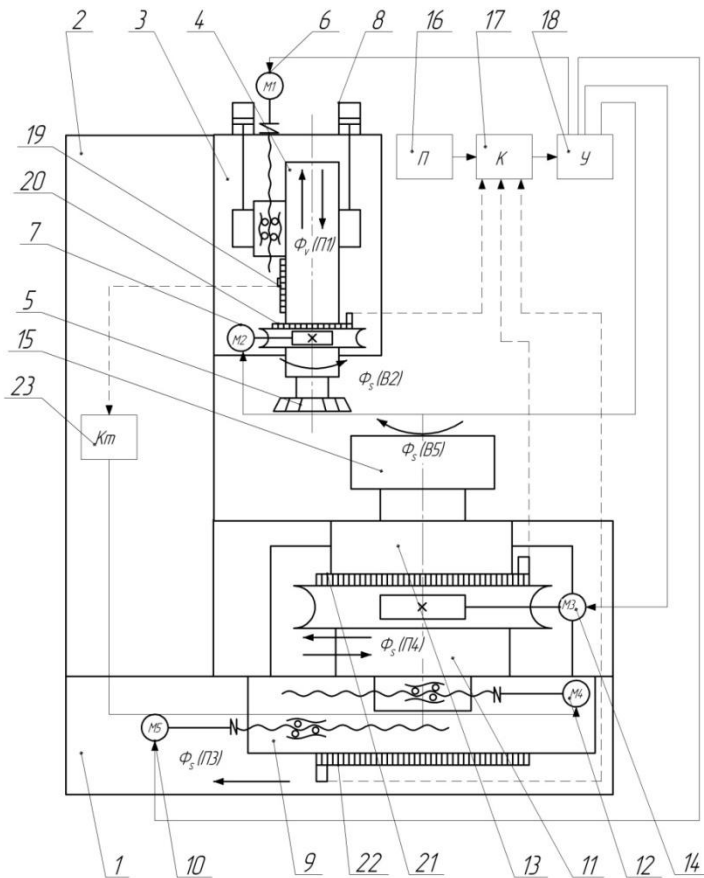
Зубодолбежный станок (рис. 2) содержит станину 1, стойку 2, суппорт 3 с инструментальным шпинделем 4, в котором крепится долбяк 5 [2, с. 58—59]. Инструментальный шпиндель совершает движения от привода 6 и от привода 7. Для разгрузки привода главного движения 6 применяются гидроцилиндры 8.

На станине 1 установлены салазки 9, совершающие движение от привода 10; на салазках 9 установлен стол 11, совершающий движение от привода 12; в стол 11 вмонтирован шпиндель изделия 13, совершающий движение от привода 14; в шпинделе изделия 13 крепится обрабатываемая заготовка 15.

Станок оснащается системой программного управления, которая содержит программатор П (16), связанный с компаратором К (17), который связан с усилителем У (18), управляющие импульсы от которого передаются на приводы. Приводы также содержат измерительные преобразователи: по величине линейного перемещения

инструментального шпинделя 19, по углу поворота инструментального шпинделя 20, по углу поворота шпинделя изделия 21, по величине перемещения салазок 22.

Режимы движений задаются программатором 16: начальное положение, длина хода, скорость перемещения инструментального шпинделя 4  $\Phi_v(\Pi 1)$ ; скорость круговой подачи инструментального шпинделя 4  $\Phi_s(B2)$ , согласованная с ней скорость вращения шпинделя изделия 13  $\Phi_s(B2)$ ; согласованная с ней скорость и величина хода радиальной подачи  $\Phi_s(\Pi 3)$ ; величина и скорость быстрого отвода стола с заготовкой во время холостого хода инструментального шпинделя.



**Рисунок 2. Электронные связи между приводами**

В процессе нарезания зубьев сформированная программатором 16 информация подается на компаратор 17, где на основе сравнения заданной информации и информации, поступающей от измерительных преобразователей 19—22, вырабатываются управляющие импульсы, направляемые на усилитель 18, от которого после усиления они передаются на соответствующие приводы: М1 (6) главного возвратно-поступательного движения инструментального шпинделя 4; М2 (7) круговой подачи инструментального шпинделя 4 Скр.и.; М3 (16) вращательного движения шпинделя изделия 13 Скр.з.; М4 (12) — движения.

Управление движением врезания-отскока стола происходит следующим образом. Сигналы с измерительного преобразователя 19 (рис. 2) поступают на управляющий триггер, далее с использованием делителя частоты 25 формируется серия импульсов заданной частоты, которые поступают на цифроаналоговый преобразователь 26, с которого сигналы передаются на шаговый двигатель привода 12. В соответствии с частотой этих сигналов происходит перемещение стола 11 с заданной скоростью.

При холостом ходе инструментального шпинделя 4 стол 11 с заготовкой 15 совершает движение отскока в направлении от долбяка 5, предотвращая износ зубьев последнего.

Станок с предлагаемой схемой действия обеспечивает возможность нарезания зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления, с постоянной и с изменяющейся по длине по заданному закону толщиной зуба. Также по такой схеме возможна модернизация находящихся в эксплуатации зубодолбежных станков, не имевших до этого такой возможности.

### **Список литературы:**

1. Полуавтомат зубодолбежный вертикальный для цилиндрических колес. Модель 5А140П. Руководство по эксплуатации. 1988. — 167 с.
2. Liebherr LFS 380. Проспект зубодолбежного станка фирмы Liebherr. 2009. — 12 с.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА  
В РАМКАХ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО  
ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ  
НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ «ОСНОВАНИЕ»**

*Хлебников Антон Анатольевич  
магистр, АПИ(ф)ФГБОУ ВПО НГТУ,  
г. Арзамас*

*Кангин Михаил Владимирович  
доцент, канд. техн. наук, доцент АПИ(ф)ФГБОУ ВПО НГТУ  
г. Арзамас  
E-mail: [kangin.mikhail@yandex.ru](mailto:kangin.mikhail@yandex.ru)*

**EFFICIENCY IMPROVEMENT  
OF DESIGN-ENGINEERING PREPRODUCTION  
IN TERMS OF COMPUTER INTEGRATED FACTORY  
SPACE USING THE EXAMPLE OF DETAIL “BASE”**

*Anton Khlebnikov  
master of Arzamas Polytechnic Institute — branch of FSBEI HVE  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
Arzamas*

*Mikhail Kangin  
candidate of Science, associate professor  
of Arzamas Polytechnic Institute — branch of FSBEI HVE  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,  
Arzamas*

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассмотрены методы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства с использованием сквозной 3D-технологии АСКОН на примере детали «Основание».

## ABSTRACT

The article studies automation methods of design-engineering preproduction with the use of continuous 3D technology ASCON using the example of detail "Base".

**Ключевые слова:** конструкторско-технологическая подготовка производства; сквозная 3D-технология.

**Keywords:** design-engineering preproduction; continuous 3D technology.

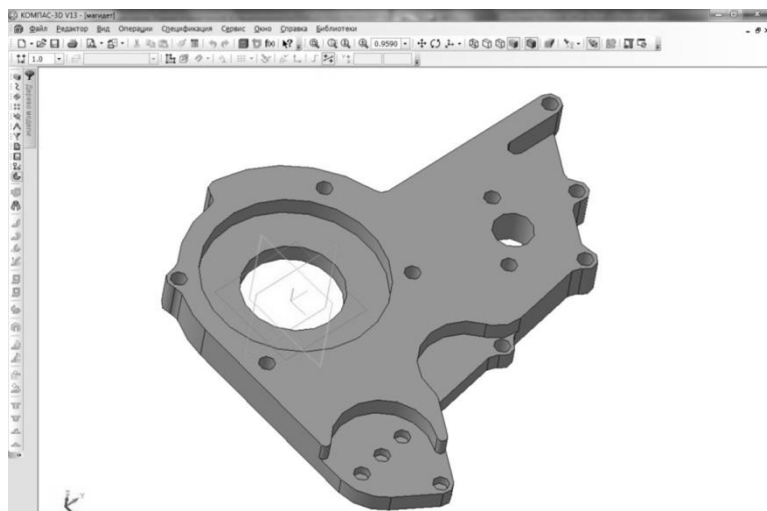
Основными факторами эффективности функционирования машиностроительного предприятия являются сжатые сроки и высокое качество конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) [1, с. 14]. Автоматизировать и повысить эффективность КТПП позволяют современные CAD/CAE/CAPP/CAM/PLM системы. Самостоятельное использование систем CAD, CAPP, CAE, CAM дает экономический эффект. Но он может быть существенно увеличен их интеграцией в рамках единого компьютерно-интегрированного пространства предприятия.

Такая интеграционная система CAD/CAPP/CAE/CAM/PLM на информационном уровне поддерживается единой базой данных. В ней хранится информация о структуре и геометрии изделия (как результат проектирования в CAD системе), о технологии изготовления (как результат работы CAPP системы) и управляющие программы для оборудования с ЧПУ (как исходная информация для обработки в системе CAM на оборудовании с ЧПУ).

Отечественной реализацией идеологии и принципов концепции PLM стала сквозная 3D-технология АСКОН, обеспечивающая полную сквозную интеграцию и взаимодействие всех компонентов автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства. Возможности и взаимодействие систем, обеспечивающих сквозную 3D-технология, рассматриваются на примере конструкторско-технологической подготовки производства детали «Основание».

Базовые возможности CAD системы Компас 3D включают в себя развитый инструментарий трёхмерного твердотельного, поверхностного и параметрического моделирования, который позволяет спроектировать изделие любой степени сложности в 3D, а потом оформить на это изделие комплект документации, необходимый для его изготовления в соответствии с действующими стандартами (ГОСТ, СТП и др.).

На рисунке 1 показана 3D модель детали «Основание» в окне Компас 3D.



**Рисунок 1. 3D модель детали «Основание» в окне Компас 3D**

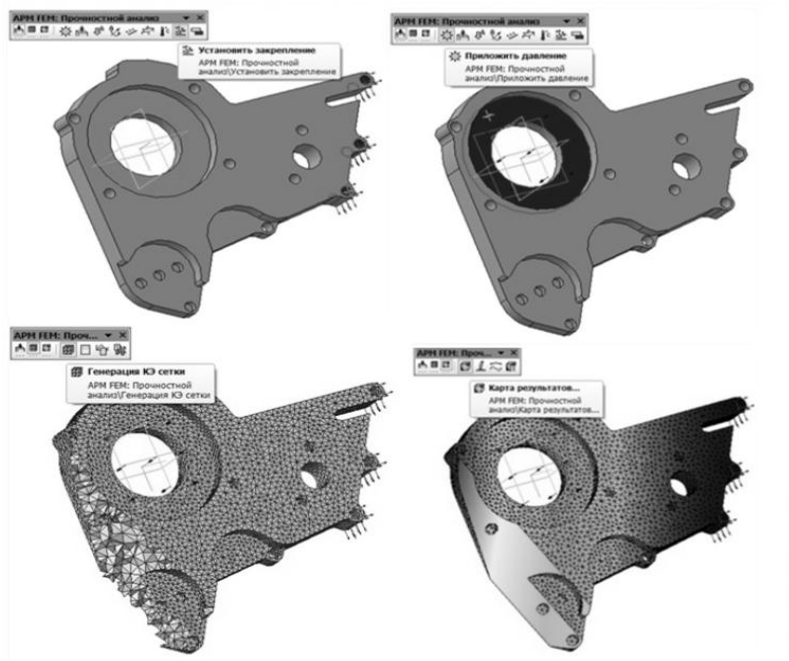
Введенная в программу Компас 3D CAE система APM FEM предназначена для выполнения расчетов различных деталей в системе Компас 3D с последующей демонстрацией результатов этих расчетов.

В состав APM FEM входят программы расчетов сборочных единиц, вводятся задания на предельно допустимые нагрузки. Также в состав APM FEM входят генераторы КЭ-сетки и постпроцессор. Это позволяет моделировать сборочные единицы узлов, провести их анализ в условиях различных воздействий: в статике, в условиях силового воздействия, работа в собственных частотах и устойчивости узла.

В APM FEM имеется функция создания КЭ-сетки, при вызове которой происходит разделение объекта с необходимым заданным шагом, что позволяет создать конечно-элементный объект.

Проверка на прочность в APM FEM помогает решать линейные задачи: проводить статические расчеты, устойчивости детали, воздействия температуры, тепловых процессов, проходящих в детали при работе.

На рисунке 2 показаны этапы проведения прочностного анализа детали «Основание»: создание закреплений и ограничений, задание нагрузок, формирование КЭ-сетки и один из результатов анализа.



**Рисунок 2. Этапы проведения прочностного анализа детали «Основание»**

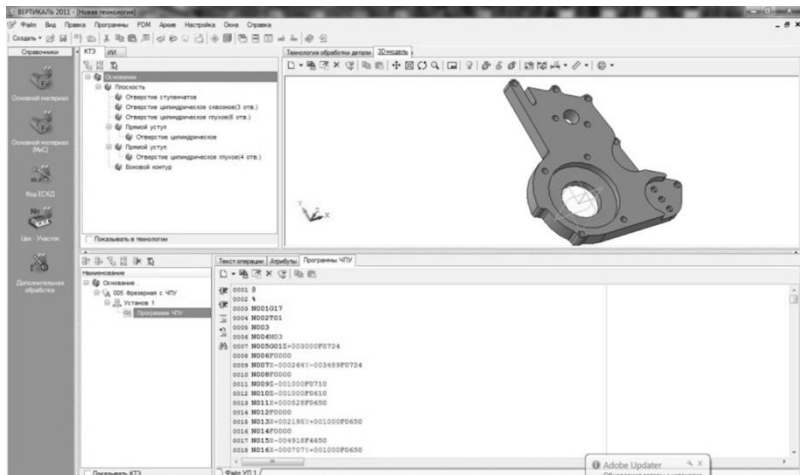
Интеграция с Компас 3D САРР системы Вертикаль V5 обеспечивает автоматический перенос данных из чертежа (и 3D модели) в текст ТП; обеспечивает визуально настраиваемые связи графических данных (конструкторской информации) со структурными элементами ТП (технологической информацией); просмотр и редактирование планов обработки поверхностей КТЭ в привязке к элементам 3D модели; навигацию в тексте ТП по 3D модели и (или) по чертежу [1, с. 14].

Во время проектирования ТП в САРР ТП Вертикаль:

- выявлены множества конструкторско-технологических элементов, входящих в состав детали «Основание», и сформировано дерево КТЭ, отображающее состав элементарных поверхностей КТЭ и групп КТЭ детали;
- сформировано дерево ТП, отображающее состав и иерархию операций, переходов, оснастки и других объектов, составляющих технологический процесс изготовления детали;



- при проектировании технологического процесса заполнено дерево КТЭ, установлены планы обработки;
- настроены связи между деревом КТЭ, деревом ТП и 3D моделью (чертежом), что позволило легко ориентироваться в техпроцессе.



**Рисунок 3. Фрагмент ТП в рабочем окне Вертикаль V5**

Интеграция Компас 3D с САМ системой ГеММа-3D позволяет создавать программы обработки наиболее сложных деталей, изготавливаемых с помощью фрезерования, сверления, электроэрозионной резки, вырубки, токарной обработки, гравировки. В состав системы входит библиотека постпроцессоров в исходных текстах.

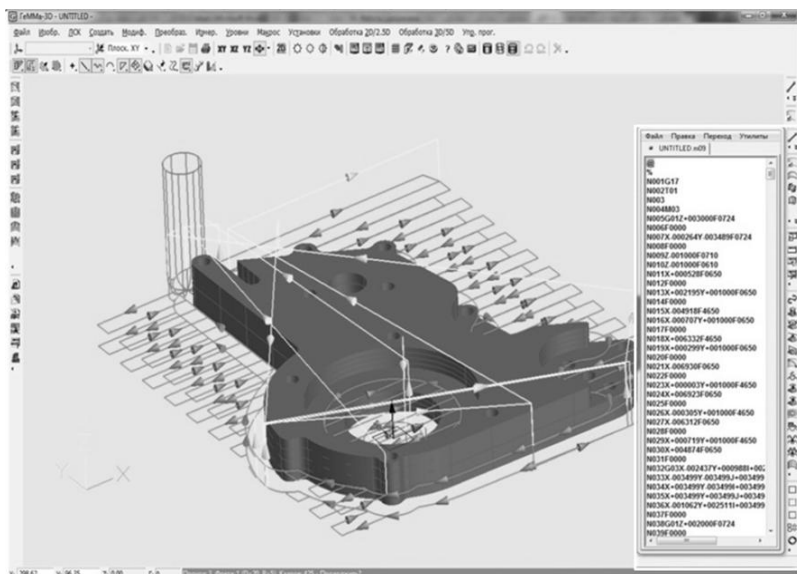
Система Гемма 3D может осуществлять работу напрямую с геометрическими данными КОМПАС-3D без ручной конвертации в промежуточные форматы, а так же дорабатывать геометрию в соответствии с конкретным инструментом, применяющимся на оборудовании с ЧПУ. Чтобы подготовить управляющую программу в Гемма 3D, можно использовать любые виды геометрических данных, плоских эскизов, чертежей и поверхностей. Для оценки точности изготовления сравниваются результаты обработки с математической моделью и задаются контурные или поверхностные заготовки произвольной формы. В программе Гемма 3D параметрически задаются технологические данные, как в переходах, так и между ними, используются станочные циклы с их настройкой на любые системы

ЧПУ. Осуществляется подготовка технологических эскизов и технологических карт. А также можно визуализировать обработку и редактировать управляющие программы.

В ходе написания программы:

- импортирована деталь из Компас в систему Гемма 3D;
- созданы ограничивающие поверхности;
- задана геометрия инструмента;
- определены режимы резания;
- выбраны обрабатываемые поверхности;
- определены размеры заготовки;
- указаны ограничивающие контуры;
- рассчитаны проходы;
- визуализирована обработка.

Фрагмент управляющей программы в рабочем окне Гемма 3D (рис. 4).



**Рисунок 4. Фрагмент управляющей программы в рабочем окне Гемма 3D**

Сквозная 3D-технология АСКОН обеспечивает автоматизацию всех этапов и процессов конструкторско-технологической подготовки производства, начиная от создания вариантов компоновки нового

изделия и заканчивая передачей документации в производство или внешнему заказчику. При этом все элементы КТПП, используя централизованные средства хранения и обработки данных, органично увязаны в единую информационно-процессную среду проектирования и подготовки производства.

Использование сквозной 3D-технологии АСКОН в конструкторско-технологической подготовке производства позволяет:

- сократить сроки КТПП;
- существенно повысить качество конструкторской и технологической документации;
- снизить издержки или совсем исключить опытное производство изделий;
- максимально быстро вводить в производство модификации изделий;
- эффективно эксплуатировать парк станочного оборудования (в том числе дорогостоящее импортное оборудование с ЧПУ) и оптимизировать расход инструмента.

### **Список литературы:**

1. Суханова М.И., Кангин М.В. Повышение эффективности технологической подготовки производства с использованием САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ V5 на примере группы деталей «Вал привода» // Технические науки основы современной инновационной системы: Материалы международной научно-практической конференции (Йошкар-Ола 25 апр.): В 2 ч. [текст] / Приволжский научно-издательский центр. Йошкар-Ола: КОЛОКВИУМ, — 2012. — 1 ч. — 144 с. — 2 ч. — 120 с.

# ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ БЛОКА УПРАВЛЯЕМЫХ ДЕБАЛАНСНЫХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ

*Черевко Александр Николаевич*

*канд. техн. наук, зав. кафедрой теоретической механики,  
доцент Полтавского национального технического университета,  
г. Полтава*

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

## ABOUT FEATURES OF THE BLOCK OF CONTROLLED ECCENTRIC WEIGHT VIBRATION EXCITERS

*Alexandr Cherevko*

*candidate of Science, Head of Theoretical Mechanics department,  
assistant professor of Poltava National Technical University,  
Poltava*

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы связанные с динамикой блока управляемых двухдебалансных вибровозбудителей. Для оценки возможностей такого генератора колебаний используется теория приведения системы сил к заданному центру. В результате проведенных исследований были получены характеристики вибрационных полей, которые может создавать этот блок, а также зависимость их структуры от угла поворота подвижного дебаланса и угла сдвига фаз.

### ABSTRACT

The questions related to the dynamics of the two-block controlled unbalance vibration exciters. To assess the capabilities of the generator vibration theory is used to bring the system of forces to a given center. The studies were obtained characteristics of vibration fields that may cause this unit as well as the dependence of their structure on the angle of rotation of the movable eccentric weight and phase angle.

**Ключевые слова:** дебаланс; вибровозбудитель, силовое поле, блок, фаза колебаний, управление, сила инерции.

**Keywords:** eccentric weight, vibration exciter, the force field, block, phase of the oscillation, control, inertial force.

Дебалансный вибровозбудитель — это устройство (механизм), которое состоит из неуравновешенного тела (дебаланса), закрепленного неподвижно на валу, который вращается в подшипниках. Вращение дебалансного вала происходит при помощи привода, простейшим среди которых является электрический двигатель.

Создаваемая дебалансом возмущающая сила (центробежная сила инерции дебаланса) передается на корпус вибровозбудителя через подшипники.

Благодаря своей простоте, дебалансные вибровозбудители наиболее распространены в технологических вибрационных машинах [1].

Можно выделить два основных мотива зарождения идеи управляемого вибровозбудителя дебалансного типа. Первый состоял в желании облегчить пуск приводного двигателя и исключить неуправляемый переход через промежуточные резонансы. Второй предусматривал возможность менять на ходу независимо амплитуду и частоту колебаний, то есть руководить технологическими характеристиками вибрационного процесса. Первый из них — более простой и очевидный. Можно было бы ожидать, что и хронологически он стал первым. Но в действительности оказалось наоборот.

Развитие происходило по двумя параллельными направлениями:

1. создание технологических вибрационных машин;
2. создание вибрационных испытательных стендов для исследования наиболее ответственных конструкций, приборов и устройств во время их динамических нагрузок.

По понятной причине второе направление было приоритетным, что и обусловило мотивацию развития идеи управляемого возбудителя колебаний.

Несмотря на воображаемое разнообразие технических решений по данной проблеме, их можно условно классифицировать по нескольким основным признакам:

I. Степень регулирования:

- 1) без регулирования или с регулированием после остановки;
- 2) с регулированием силами инерции (самоустанавливаемые);
- 3) управляемые по заданному закону.

II. Характер регулирования:

- 1) плавное изменение массы и положения дебалансов;
- 2) ступенчатое изменение массы и положения дебалансов.

III. Вид неуравновешенности:

- 1) изменение только статического момента массы дебалансов;

2) изменение статического момента и центробежного момента инерции массы дебалансов;

3) изменение статического момента, центробежного и осевого моментов инерции массы дебалансов.

#### IV. Конструктивные особенности регулирования:

1) изменение массы дебаланса за счет перемещения вдоль его радиуса любой дополнительной массы (ползун, дробь, жидкость);

2) поворот одного дебаланса относительно другого без перемещения вдоль вала;

3) поворот дебаланса с одновременным перемещением его вдоль вала.

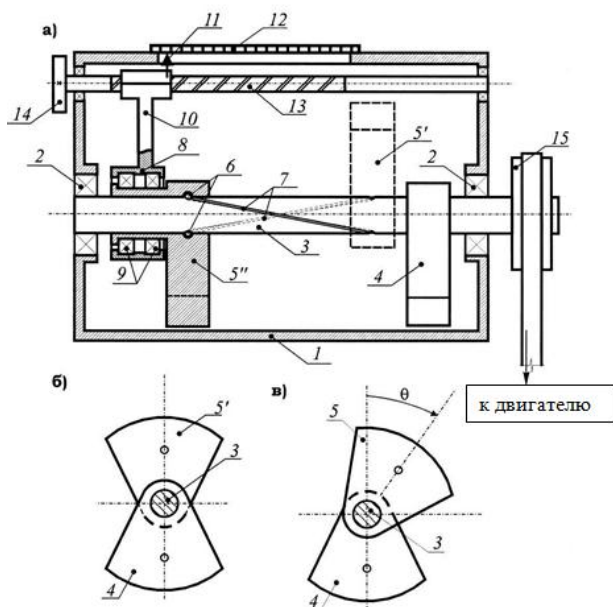
Самый большой интерес вызывают вибровозбудители, которые позволяют на ходу плавно управлять характеристиками неуравновешенности по заданному закону. Анализируя их конструктивные особенности, заметим, что практически все они базируются на использовании полого дебалансного вала, внутри которого размещен второй вал или другое устройство для управления дебалансами. Полый вал довольно привлекателен для реализации этой технической идеи, но его применение связано с целым рядом трудностей при конструировании механизма. Скорее всего, это одна из главных причин отсутствия не только серийных технологических машин с управляемым дебалансным вибровозбудителем, но и каких-либо удачных единичных экземпляров.

Отдельные попытки изготовления и применение управляемых вибровозбудителей как привода технологических машин оказались неудачными через несовершенство их конструкций, низкую надежность, сложность управления. Вместе с тем, эти попытки позволили проверить в практическом применении идею управляемого вибровозбудителя, подтвердить ее позитивизм и подчеркнуть целесообразность поисков новых технических решений.

Первый управляемый дебалансный вибровозбудитель для технологических вибрационных машин был разработан в 1985 году в Полтавском инженерно-строительном институте (сейчас Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка) вместе с производственным объединением «Знамя» [2].

Этот вибровозбудитель *УВВ-02* (рис. 1) имел два дебаланса. Один из них 4 был неподвижно закреплен на дебалансном валу 3, а второй, подвижный, дебаланс 5 был связан с дебалансным валом с помощью шаровых шпонок 6 и винтовых канавок 7 кругового сечения. Механизм управления состоял из ходового винта 13, маховичка 14 и вилки 10. Подвижный дебаланс соединен с вилкой с помощью подшипников 9. Во время вращения маховичка 14 ходовой винт 13

вместе с вилкой 10 перемещается вдоль дебалансного вала и тянет подвижный дебаланс 5. Поскольку подвижный дебаланс соединен с дебалансным валом с помощью шаровых шпонок и винтовых канавок, то во время перемещения вдоль вала он будет поворачиваться относительно неподвижного дебаланса на угол  $\theta$  от уравновешенного положения. Форма и массы обеих дебалансов одинаковые, в уравновешенном положении они размещены диаметрально противоположно. Статический момент масс равняется нулю. В таком состоянии происходит пуск вибровозбудителя. Части, которые вращаются, статически уравновешенные. Колебания отсутствуют, резонансные частоты во время разгона вибровозбудитель проходит без каких-либо проблем.



**Рисунок 1** Управляемый вибровозбудитель УВВ-02: а — схема вибровозбудителя; б — положение дебалансов во время пуска и остановки; в — положение дебалансов в переходном режиме, 1 — корпус; 2 — подшипники дебалансного вала; 3 — дебалансный вал; 4 — неподвижный дебаланс; 5 — подвижный дебаланс (5' — в положении равновесия); 6 — шаровые шпонки; 7 — винтовые канавки; 8 — втулка; 9 — подшипники; 10 — стойка вилки управления; 11 — показатель; 12 — шкала; 13 — ходовой винт; 14 — маховичок; 15 — шкив

После выхода приводного двигателя в режим можно управлять положением подвижного дебаланса изменяя статический момент массы дебалансов от нуля до заданной величины по любому закону. Маховичок управления можно вращать вручную или с помощью дополнительного двигателя.

Перед остановкой вибровозбудителя его части, которые вращаются, снова приводятся в статически уравновешенное состояние. И снова переход через частоты промежуточных резонансов вибровозбудитель проходит плавно, не замечая этих резонансов и не создавая негативных последствий для себя и машины, на которой он установлен.

Большой интерес представляет собой соединение вибровозбудителей с различными динамическими характеристиками в один вибрационный блок. Рассмотрим работу двух вибровозбудителей с двумя дебалансами на валу. Не изменяя конструктивной схемы машины, будем изменять динамические параметры силового вибрационного поля направлением винтовой канавки на дебалансном валу.

В рассматриваемой ниже схеме вибровозбудители синхронизируются с вращением в противоположные стороны. Расчетная схема (рис. 2) учитывает возможность установки первоначального угла сдвига фаз  $\varphi_0$ . Разворот подвижных дебалансов производится в противоположные стороны, смотря навстречу оси  $X$ .

Для определения возможностей блока вибровозбудителей приведем систему сил инерции к простейшему виду.

Определим главный вектор сил инерции  $\bar{F}_A$ :

$$\bar{F}_A = F_x \bar{i} + F_y \bar{j} + F_z \bar{k}.$$

Проекции главного вектора на оси координат определяются по следующим формулам:

$$F_x = \sum F_{ix}; \quad F_y = \sum F_{iy}; \quad F_z = \sum F_{iz}.$$





$$\begin{aligned} \sum M_{ix} &= \Phi_1 b \cos \varphi - \Phi'_1 b \cos(\varphi - \theta) = -2\Phi_1 b \sin\left(\varphi - \frac{\theta}{2}\right) \sin \frac{\theta}{2}; \\ \sum M_{iy} &= 2\Phi_1 \cos \frac{\varphi_0}{2} \left( a \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) - (a+l+L) \cos\left(\varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2}\right) \right); \\ \sum M_{iz} &= 2\Phi_1 \sin \frac{\varphi_0}{2} \left( a \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) - (a+l+L) \cos\left(\varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2}\right) \right); \\ M_A &= \sqrt{(\sum M_{ix})^2 + (\sum M_{iy})^2 + (\sum M_{iz})^2} \\ M_A &= 2\Phi_1 \left( b^2 \sin^2\left(\varphi - \frac{\theta}{2}\right) \sin^2 \frac{\theta}{2} + \left( a \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. -(a+l+L) \cos\left(\varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2}\right) \right)^2 \right)^{1/2}; \end{aligned}$$

Определим наименьший главный момент системы сил инерции:

$$\begin{aligned} M_g &= \frac{M_x F_x + M_y F_y + M_z F_z}{F_A}. \\ M_g &= 2\Phi_1 \sin \varphi_0 \left( \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right) \right)^{1/2} \left( a \cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right) - \right. \\ &\quad \left. -(a+l+L) \cos\left(\varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2}\right) \right) \times \\ &\quad \times \left( \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right) - \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right) \right) = 0; \end{aligned}$$

Таким образом, система сил приводится к равнодействующей, приложенной в новом центре приведения.

$$R = 4\Phi_1 \sin \frac{\theta}{2} \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right);$$

Найдем уравнение линии действия равнодействующей.

$$M_x - (yF_z - zF_y) = 0.$$

$$y \cos \frac{\varphi_0}{2} + z \sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{b \sin \left( \varphi - \frac{\theta}{2} \right)}{2 \sin \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} \right)};$$

$$M_y - (zF_x - xF_z) = 0.$$

$$x = \frac{a \cos \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} \right) - (a + l + L) \cos \left( \varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2} \sin \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} \right)}.$$

$$M_z - (xF_y - yF_x) = 0.$$

$$x = \frac{a \cos \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} \right) - (a + l + L) \cos \left( \varphi - \theta + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{2 \sin \frac{\theta}{2} \sin \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} \right)}.$$

Исследуем возможность приведения системы сил к паре сил. Это произойдет в случае равенства нулю главного вектора системы сил:

$$F_A = 4\Phi_1 \sin \frac{\theta}{2} \sin \left( \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} \right) = 0;$$

Для выполнения этого равенства необходимо чтобы:

а)  $\sin \frac{\theta}{2} = 0$ ;  $\frac{\theta}{2} = 0, \pi$ ;  $\theta = 0$ . В этом случае пара

сил инерции характеризуется моментом:

$$M_A = 2\Phi_1(l+L)\cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right);$$

$$\text{б) } \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right) = 0; \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} = 0, \pi.$$

Рассмотрим оба случая:

$$1) \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} = 0; \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\theta}{2}; \quad \text{определим момент}$$

пары сил:

$$M_A = 2\Phi_1 \sqrt{b^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} + (l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2}};$$

$$2) \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2} = \pi; \quad \varphi + \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\theta}{2} + \pi; \quad \text{определим момент}$$

пары сил:

$$M_A = 2\Phi_1 \sqrt{b^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} + (l+L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2}}.$$

### Выводы

При изменении угла поворота  $\theta$  подвижных дебалансов в пределах от  $0$  до  $\pi$  система сил инерции приводится к различным простым видам:

1.  $\theta = 0$ , система сил приводится к паре сил с моментом:

$$M_A = 2\Phi_1(l+L)\cos\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2}\right);$$

2.  $0 < \theta \leq \pi$ , система сил приводится к равнодействующей,

$$R = 4\Phi_1 \sin \frac{\theta}{2} \sin\left(\varphi + \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\theta}{2}\right);$$

3.  $\varphi + \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\theta}{2}$ , система сил приводится к паре сил

с моментом:

$$M_A = 2\Phi_1 \sqrt{b^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} + (l + L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2}};$$

4.  $\varphi + \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\theta}{2} + \pi$ , система сил приводится к паре сил

с моментом:

$$M_A = 2\Phi_1 \sqrt{b^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2} + (l + L)^2 \cos^2 \frac{\theta}{2}}.$$

### Список литературы:

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. Ростов-н/Д.: ДГТУ, 1999. — 620 с.
2. Сердюк Л.И. Основы теории, расчет и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: автореф. дис. докт. техн. наук / Л.И. Сердюк; ХПИ. Харьков, 1991. — 48 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА  
НА КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЯ  
С ЦЕЛЬЮ РЕГЕНЕРАЦИИ ЕГО СВОЙСТВ**

***Шанина Ольга Геннадьевна***

*магистр АПИ НГТУ,*

*г. Арзамас*

*E-mail: [shanushka87@yandex.ru](mailto:shanushka87@yandex.ru)*

***Рябикина Татьяна Владимировна***

*канд. техн. наук, доцент АПИ НГТУ,*

*г. Арзамас*

*E-mail: [uchsovet@apingtu.edu.ru](mailto:uchsovet@apingtu.edu.ru)*

**STUDY OF ELECTROLYTE CHEMISTRY INFLUENCE  
ON A COATING QUALITY WITH THE PURPOSE  
OF REGENERATION OF ITS PROPERTIES**

***Olga Shanina***

*master of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,*

*Arzamas*

***Tatiana Ryabikina***

*candidate of Science, associate professor*

*of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,*

*Arzamas*

**АННОТАЦИЯ**

В статье анализируется проблема связанная с технологией нанесения никелевого покрытия на детали из алюминия. Приводятся результаты исследования химического состава проб электролитов, отобранных в процессе нанесения покрытия. Устанавливается зависимость качества покрытия от модификации состава раствора. Ставится задача найти возможность регенерации электролита с целью повышения его ресурса работы и снижения экологически вредных отходов гальванического производства.

## ABSTRACT

The article examines the problem connected with nickel plating technology applied to aluminum parts. There are presented the results of electrolytes' sampling chemistry study which have been selected during the plating process. The dependence between a coating quality and a solution chemistry modification is stated. There is set an objective to find the possibility of electrolyte regeneration in order to increase its operational life and decrease toxic industrial waste of electroplating industry.

**Ключевые слова:** химическое никелирование; качество покрытия; электролит; регенерация; вредные отходы производства.

**Keywords:** electroless nickel plating; coating quality; electrolyte; regeneration; toxic industrial waste.

Нанесение гальванических покрытий — один из наиболее распространенных способов защиты металлов от коррозии. Технология нанесения гальванического покрытия очень сильно влияет на качество готовых изделий, их долговечность и эксплуатационные характеристики.

Гальванически нанесенный слой металла значительно повышает износостойкость основного изделия, его электропроводность и многие другие важные показатели.

Ввиду возрастающей важности легких металлов, многочисленных и своеобразных их методов отделки, сделана попытка определения зависимости качества химически наносимого никелевого покрытия на детали, изготовленные из алюминия АМГ6, АМЦ, Д 16 от модификации состава электролита в процессе работы.

Коррозионная стойкость легких металлов на первый взгляд кажется чем-то необычным, но это можно объяснить тем, что эти металлы в высшей степени электроотрицательны и имеют сильное сродство к кислороду. Эти факторы оказывают значительное влияние на химические свойства этих металлов. Можно было бы ожидать, что легкие металлы обладают низкой химической стойкостью в коррозионных средах. Но все же коррозионная стойкость даже промышленных сортов алюминия гораздо выше коррозионной стойкости стали и во многих случаях даже выше коррозионной стойкости меди.

В условиях производства гальванические покрытия получают путем выделения металла из раствора его солей под действием электрического тока. При этом в качестве анода выступает вспомогательный электрод, который подключается к положительному

полюсу источника тока. Катод — это сама деталь, на которую наносится гальваническое покрытие.

Особое место в технологии нанесения покрытий уделяется подготовке (окончательной отделке) поверхностей. Это объясняется тем, что этот металл химически активен. Повышенная коррозионная стойкость, присущая легким металлам, объясняется наличием окисной пленки, которая быстро образуется на поверхности и предотвращает дальнейшую коррозию. Коррозия алюминия и его сплавов может происходить в результате действия одного или нескольких факторов, таких как, коррозионная среда, коррозионные токи, механическое воздействие, или эрозия, и может привести к более или менее сильным питтингам и растворению поверхности или к межкристаллитной коррозии. Все это приводит к снижению механических свойств или к разрушению металла.

Процессу химического никелирования алюминия более пятидесяти лет. Покрытие представляет сплав никеля с фосфором — от 2 до 12 % по массе. Начиная с 8 % фосфора, сплав не имеет кристаллической структуры и является металлическим стеклом, одновременно теряя магнитные свойства. После термообработки при температуре 400°C твердость сплава резко возрастает с 600 до 1000 кг/мм<sup>2</sup>, что соответствует твердости хромового покрытия.

И, тем не менее, в последние пять лет резко возросла востребованность в технологии покрытия цветных металлов. Прирост производства деталей с никелевым покрытием ежегодно превышает 50 %.

Широкому внедрению в промышленность процесса химического никелирования способствует ряд ценных свойств покрытия, полученного этим способом: высокая равномерность, твердость, износостойчивость, коррозионная стойкость, антифрикционность (низкий износ при сухом трении), диамагнитность, способность экранировать высокочастотные электромагнитные излучения, низкое переходное сопротивление на электрических контактах, хорошая паяемость (для обеспечения пайки низкотемпературными припоями) [2, с. 114].

Покрытие может быть нанесено на изделие сложной конфигурации с высокой степенью равномерности, недостижимой при электрохимическом (гальваническом) нанесении. Оно может быть нанесено на внутренние полости и каналы изделия, что технически крайне сложно реализовать при гальваническом нанесении.

Основным преимуществом никелевых покрытий, нанесенных химическим путем, является однородная толщина независимо от формы изделия. Это характерно для всех процессов осаждения металла без применения тока. Особенностью химического никелиро-



вания является непрерывное осаждение слоя, что создает возможность образования покрытий любой толщины (от 3 до 36 мкм) [1, с. 136].

Но у процесса существует и ряд недостатков. Покрытие обладает повышенной хрупкостью, не рекомендуется гибка и развальцовка деталей с химическим никелевым покрытием.

Согласно заводским технологическим инструкциям по работе с установкой химического никелирования раствор (170 л) считается выработанным после покрытия 30 м<sup>2</sup> деталей на толщину 18 мкм. Переход никеля из раствора в покрытие приводит к подкислению раствора; постоянство pH поддерживается введением аммиака. Таким образом, в растворе химического никелирования накапливаются ионы аммония; к концу эксплуатации раствора концентрация ионов NH<sub>4</sub><sup>+</sup> доходит до 0,9 моль/л. Как правило, отработанные растворы химического никелирования сбрасываются на заводские очистные сооружения, что приводит к безвозвратным потерям больших количеств никеля.

Процесс химического никелирования все еще остается более дорогим процессом, чем электрохимическое никелирование. В случае применения процесса химического никелирования для нанесения покрытия на детали сложного профиля или для повышения износостойкости деталей рентабельность процесса определяется не стоимостью химикатов, а сроком службы указанных деталей, покрытых химическим никелем. Высокая стоимость процесса определяется высокой стоимостью реактивов, применяемых для его осуществления, главным образом стоимостью гипофосфита и применяемых в качестве буферующих и комплексообразующих добавок. В настоящее время основным принципом работы при химическом никелировании остается принцип одноразового использования раствора [3, с. 41].

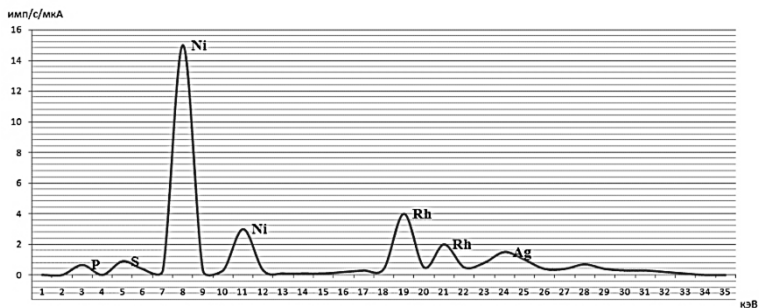
Воздействие компонентов растворов и электролитов на окружающую среду также отрицательно сказывается. Сульфат и хлорид никеля сообщают воде металлический привкус в концентрации 50 мг/л, окрашивают воду в концентрации 1000 мг/л, на запах не ощущаются. В концентрации 1 мг/л никель заметно увеличивает мутность воды. В реках России никель содержится в концентрациях 0,0008—0,0056 мг/л. В источниках водоснабжения он обнаружен в количестве в среднем 0,0117 мг/л.

Никель способен вызывать аллергические реакции («никелевая чесотка», экзема), всасывается кожей, и оказывать общетоксическое действие. По некоторым данным никель обладает канцерогенным и мутагенным действием.

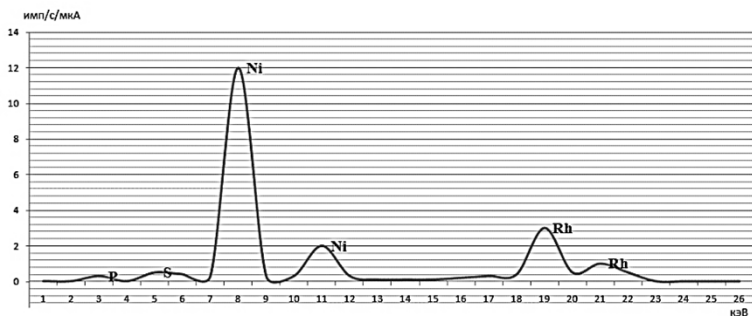
Начиная с концентрации 1,0 мг/л, никель снижает эффективность биологической очистки сточных вод, значительно снижает аэробное окисление сточных вод на биологических фильтрах. При концентрации 2,0 мг/л никель оказывает токсическое действие на микрофлору и тормозит сбраживание осадка.

В связи с тем, что химическое никелирование остается востребованным методом, наряду с оценкой качества можно решать и проблему регенерации состава электролита.

Одной из возможных причин нарушения качества покрытия химического никелирования может послужить нарушение состава электролитов при проведении процесса. Исследование зависимости состава электролита от проработки ванны химического никелирования осуществлялось на приборе — энергодисперсионный рентгенфлуоресцентный спектрометр EDX-720.



**Рисунок 1. Состав пробы чистого непроработанного электролита**



**Рисунок 2. Состав пробы электролита, отработанного в процессе работы**

Были проведены серии экспериментов, в ходе которых производился отбор проб электролита для анализа. При исследовании выполнялись экспериментальные замеры химического состава образцов чистого непроработанного электролита и рабочего раствора, отобранного в процессе нанесения покрытия.

Результаты замеров образцов представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

После экспериментальной проверки состава непроработанного раствора было выявлено содержание элементов металлов: Р — 18811,53 часть/млн; S — 9270,379 часть/млн; Ni — 8443,613 часть/млн; Ag — 108,921 часть/млн; H<sub>2</sub>O — 96,337 % .

После экспериментальной проверки состава рабочего раствора было выявлено содержание элементов металлов: Р — 18433,94 часть/млн; S — 8898,836 часть/млн; Ni — 6891,161 часть/млн; H<sub>2</sub>O — 96,578 % .

Проведенными экспериментами установлено, что Ag не было обнаружено, а максимальное снижение объема металлов шло по элементам Ni и S. При наблюдении отклонений в нарушении температурного режима на протяжении всего технологического процесса были не замечены.

Таким образом, можно сделать вывод, что в зависимости от объемов деталей и времени работы растворы теряют свои свойства и изменяют химический состав, влияя тем самым на качество покрытия. На этих деталях наблюдались пузыри, вздутие и отслаивание покрытия, точечная шероховатость, нарушаемая сопрягаемость.

В дальнейшем решение поставленной задачи по возможности регенерации электролита позволит повысить его ресурс работы без снижения качества никелевого покрытия и снизит объемы экологически вредных отходов гальванического производства.

### **Список литературы:**

1. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению. М.: Техносфера, 2006. — 216 с.
2. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. В 2-х томах / В.И. Игнатъев, Н.С. Ионычева, А.В. Марейчев и др. / Под общ. ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, — Т. 1. — 1985. — 240 с., — Т. 2. — 1985. — 248 с.
3. Хранилов Ю.П., Лобанова Л.Л. Утилизация никеля из отработанных растворов химического никелирования // Гальванотехника и обработка поверхностей. — 2002. — том X — № 1. — С. 41—46.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
СКОЛЬЗЯЩЕГО УДАРА ЭЛЕМЕНТОВ  
МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА (MCX)  
БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

***Шенкман Людмила Владиславовна***

*канд. техн. наук., доцент ФГБОУВПОКГТА им. В.А. Дегтярева,  
г. Ковров  
E-mail: [lusishenk@mail.ru](mailto:lusishenk@mail.ru)*

***Козлова Светлана Николаевна***

*канд. техн. наук., доцент ФГБОУВПОКГТА им. В.А. Дегтярева,  
г. Ковров*

***Савина Елена Сергеевна***

*студент ФГБОУВПОКГТА им. В.А. Дегтярева,  
г. Ковров*

**MATHEMATICAL MODEL  
OF THE ROLLING IMPACT ELEMENTS  
OF FREERUNNING (MCX) BLOCK DESIGN**

***Shenkman Luidmila***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal state  
budgetary educational institution higher professional education Kovrov  
state technological academy named after V.A. Degtayrev, Kovrov*

***Kozlova Svetlana***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal state  
budgetary educational institution higher professional education Kovrov  
state technological academy named after V.A. Degtayrev, Kovrov*

***Savina Elena***

*student of Federal state budgetary educational institution higher  
professional education Kovrov state technological academy  
named after V.A. Degtayrev, Kovrov*

## АННОТАЦИЯ

Оригинальный блочный механизм свободного хода (МСХ) отличается высокой прочностью зуба при малом шаге. Однако, работа храповых МСХ сопровождается ударами, которые приводят к поломкам. Предлагаемая математическая модель поможет спроектировать МСХ с оптимальными размерами и снизить ударные нагрузки.

## ABSTRACT

Original block overrunning clutch is highlydurable tooth with a small step. However, the work of the ratchet — gear free — wheel clutch mechanisms of agricultureis accompanied by blows that lead to breakdowns. The proposed mathematical model will help design the free-wheel clutch mechanism with optimal size and reduce shock loads.

**Ключевые слова:** храповой МСХ; скользящий удар; математическая модель.

**Keywords:** ratchet MCX; sliding kick; mathematicalmodel.

В импульсных механизмах МСХ испытывают большие динамические нагрузки, и все известные конструкции быстро выходят из строя. Блочный МСХ — оригинальная конструкция храпового МСХ. Эксперименты показали его более высокую, по сравнению с другими известными конструкциями, надежность.

Чтобы на стадии проектирования снизить ударные нагрузки, и подобрать оптимальные конструктивные параметры храпового МСХ блочного типа, разработана, в частности, математическая модель скользящего удара элементов МСХ.

Предлагаемое решение является развитием метода расчета чисто упругого контактного удара [3, с. 37] с учетом распространения его на случаи, когда в зоне контакта возникает скольжение.

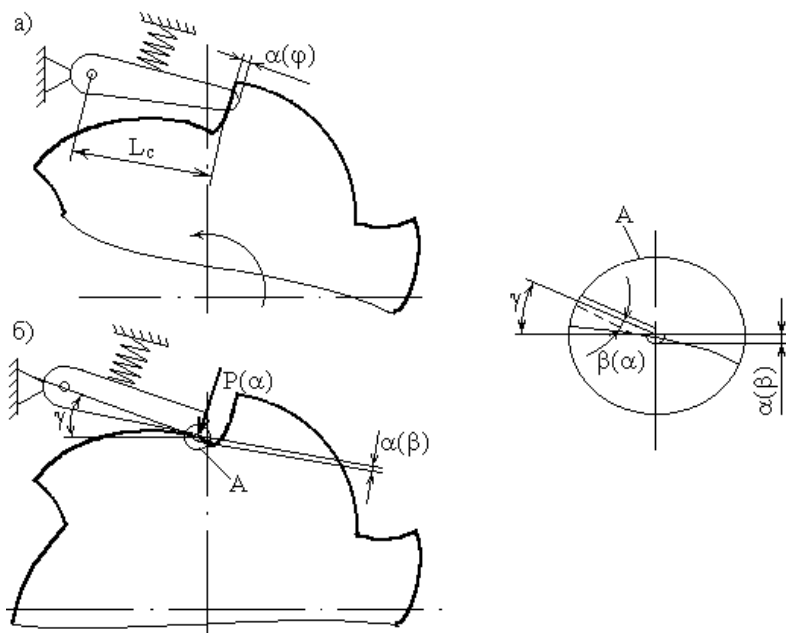
Суть рассматриваемого процесса приведена на рис. 1, б. Происходит скользящий периодический удар и отскок собачки при невключенном МСХ. Уравнение движения в период соударения собачки и храповика:

$$J_0 \frac{d^2\beta}{dt^2} = -M(\beta), \quad (1)$$

где:  $J_0$  — приведенный момент инерции соударяющихся тел;

$M(\beta)$  — текущее значение момента соударения, изменяющееся от 0 до  $M(\beta)_{\max}$ .

На рис. 1 приведены фрагменты взаимодействия собачки и зуба храповика при соударении, где  $\alpha(\beta)$  — величина местной деформации,  $\beta(\alpha)$  — угол поворота собачки, соответствующий этой деформации. На рис. 1, а — торцевой удар при замыкании МСХ, на рис. 1, б — скользящий удар собачки при соскоке в режиме холостого хода.



**Рисунок 1. Фрагменты взаимодействия собачки и зуба храповика**

Для случая скользящего удара приведенный момент инерции:

$$J_0 = \frac{J_c \cdot J_x}{J_c + J_x},$$

где:  $J_c$  — момент инерции собачки относительно оси вращения;

$J_x$  — момент инерции вращающейся части храповика.

Момент инерции собачки значительно меньше момента инерции храповика  $J_c \ll J_{кр}$ , следовательно:

$$J_0 \approx J_c \quad (2)$$

Учитывая соотношение (2), окончательно уравнение (1) примет вид:

$$J_c \frac{d^2 \beta}{dt^2} = -M(\beta), \quad (3)$$

$$J_c \frac{d^2 \beta}{dt^2} = -M(\beta) \rightarrow \frac{d\omega}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dt} = -\frac{M(\beta)}{J_c},$$

$$\frac{\omega d\omega}{d\beta} = -\frac{M(\beta)}{J_c}, \quad \omega d\omega = -\frac{M(\beta)}{J_c} d\beta,$$

$$\frac{\omega^2}{2} = -\int_0^{\beta} \frac{M(\beta)}{J_c} + C, \quad (4)$$

при  $t = 0$ ,  $\omega = \omega_0$ ,  $C = \frac{\omega_0^2}{2}$ .

Подставляя значение постоянной  $C$  в уравнение (4), получаем:

$$\frac{\omega^2}{2} = \frac{\omega_0^2}{2} - \int_0^{\beta} \frac{M(\beta)}{J_c}, \quad \frac{1}{2} \left( \frac{d\beta}{dt} \right)^2 = \frac{\omega_0^2}{2} - \int_0^{\beta} \frac{M(\beta)}{J_c},$$

$$\frac{d\beta}{dt} = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2}{J_c} \int_0^{\beta} M(\beta) d\beta}. \quad (5)$$

Преобразовывая уравнение (5) методом разделения переменных продолжительность активной части деформации можно определить из выражения:

$$t = \int_0^{\beta_{\max}} \frac{d\beta}{\sqrt{\omega_0^2 - \frac{2}{J_c} \int_0^{\beta_{\max}} M(\beta) d\beta}}. \quad (6)$$

Время  $t$  рассматривается с момента первого касания собачки поверхности зуба до достижения максимальной местной деформации. Для решения уравнения (6) используется формула Герца:

$$P(\alpha) = b\alpha^{3/2},$$

где:  $b$  — коэффициент, зависящий от геометрических параметров контактирующих поверхностей и материалов тел;

$\alpha$  — сближение соударяющихся тел в зоне контакта.

Для рассматриваемого случая ни одно из условий, при которых справедлива формула Герца, не соблюдается. В частности:

- вектор скорости соударения не перпендикулярен к поверхности контакта;
- в зоне контакта имеет место пластическая деформация;
- между телами в момент соударения имеет место скольжение.

В связи с отмеченными отклонениями для решения процесса соударения используется видоизмененная формула Герца [2, с. 82]:

$$P(\alpha) = b \cdot \alpha_{(\beta)}^n, \quad (7)$$

где:  $n$  — показатель степени, отличный от  $3/2$  при чисто упругом ударе;

$b$  — коэффициент, зависящий от геометрии контактирующей поверхности при наличии пластической деформации.

Из геометрических соотношений (рис. 1, б) и с учетом (7):

$$\begin{aligned} \alpha(\beta) &= L_p \cdot \beta \cdot \cos \gamma, \\ M(\beta) &= P(\alpha) \cdot L_c \cdot \frac{1}{\cos \gamma} = b [L_c \cdot \beta \cdot \cos \gamma]^n \cdot \frac{L_c}{\cos \gamma}, \\ \int_0^{\beta} M(\beta) d\beta &= b \cdot L_c^{n+1} \cdot \frac{\beta^{n+1}}{n+1} \cdot \cos \gamma^{(n-1)}. \end{aligned} \quad (8)$$

В момент наибольшего сближения  $\beta = \beta_{\max}, \frac{d\beta}{dt} = 0, \omega = 0$



Из выражения (5):

$$\left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2 = \omega^2 - \frac{2}{J_c} \int_0^{\beta_{\max}} M(\beta) \cdot d\beta,$$

$$0 = \omega_0^2 - \frac{2}{J_c} b \cdot L_c^{n+1} \cdot \frac{\beta_{\max}^{n+1}}{n+1} \cdot \cos \gamma^{(n-1)}. \quad (9)$$

Наибольший угол  $\beta$  при ударе:

$$\beta_{\max} = \left[ \frac{\omega_0^2 \cdot J_c (n+1) \cdot \cos \gamma^{(n-1)}}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1}} \right]^{\frac{1}{n+1}}. \quad (10)$$

Для определения времени активного соударения из выражения (5), вводя обозначения  $A^2 = \frac{2}{J_c} \cdot \frac{b}{n+1} \cdot L_c^{n+1} \cdot \cos \gamma^{n-1}$

и  $x = \frac{\beta}{\beta_{\max}}$ , можно получить выражение:

$$t = \frac{1}{A} \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^{n+1}}}. \quad (11)$$

Выражение (11) решается с помощью Гамма-функции, в частности [1, ср. 44]:

$$U(n) = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^{n+1}}} = \frac{\sqrt{\pi}}{n+1} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{n+1} + \frac{1}{2}\right)}.$$

С учетом значения функции  $U(n)$  время активной части соударения определяется из:

$$T = U(n) \cdot \sqrt{\frac{J_c \cdot (n+1)}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1} \cos \gamma^{(n-1)}}}.$$

Из выражения (6) с учетом (8), (9) и (11):

$$t = U(n) \cdot \frac{\beta_{\max}}{\omega_0},$$

$$t = U(n) \cdot \frac{1}{\omega_0} \left[ \frac{\omega_0^2 \cdot J_c \cdot (n+1) \cdot \cos \gamma^{(n-1)}}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1}} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (12)$$

Наибольшее усилие при ударе:

$$P_{\max} = \frac{M_{(\beta)}^{\max}}{L} \cos \gamma. \quad (13)$$

С учетом выражений (8) и (13):

$$P_{\max} = b \cdot L_c^{n+1} \frac{\beta_{\max}^{n+1}}{n+1} \cdot \cos \gamma^{(n-1)} \cdot \frac{\cos \gamma}{L_c},$$

$$P_{\max} = b \cdot \alpha^n = b \cdot [L_c \cdot \beta_{\max} \cdot \cos \gamma]^n,$$

$$P_{\max} = b \cdot \left[ L_c \cdot \left( \frac{\omega_0^2 \cdot J_c \cdot (n+1) \cdot \cos \gamma^{(n-1)}}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1}} \right)^{\frac{1}{n+1}} \cdot \cos \gamma \right]^n,$$

$$P_{\max} = b \cdot \cos \gamma^n \cdot \left[ \frac{\omega_0^2 \cdot J_c(n+1) \cdot \cos \gamma^{(n-1)}}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1}} \right]^{\frac{n}{n+1}} \cdot L_c^n$$

$$P_{\max} = b^{\frac{1}{n+1}} \cdot \left[ \frac{\omega_0^2 \cdot J_c(n+1) \cdot \cos \gamma^{(n-1)}}{2 \cdot b \cdot L_c^{n+1}} \right]^{\frac{n}{n+1}} \quad (14)$$

Полученные уравнения (12) и (14) позволяют описать математический процесс движения собачки при вращении храповика в режиме холостого хода, с учетом имеющей место упругопластической деформации в зоне контакта собачки и зуба храповика. Используя параметры пластической твердости НД, позволяющие оценить коэффициенты в уравнении (7) получаем следующие эмпирические зависимости:

$$b = 2,33НД \cdot (D_{np} + 1), \frac{H}{мм},$$

$$n_m = 0,446НД^{0,11} \cdot (D_{np} + 2)^{0,028},$$

где:  $D_{np}$  — приведенный диаметр поверхности соударения;

НД — показатель пластической твердости, учитывающий термическую обработку материала.

Полученные эмпирические зависимости справедливы при оценке НД методом шарового индентора. Для цилиндрического индентора при одинаковом радиусе с шаровым сравнительные показания соотносятся как

$$\frac{НД_{цил}}{НД_{шар}} = 1,22$$

### Список литературы:

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1980 г.
2. Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упруго-пластической деформации. М.: Машиностроение, 1986. — 230 с.
3. Ионов В.Н., Огибалов П.М. Напряжения в телах при импульсном нагружении. М.: Высшая школа, 1975.

**РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ  
ТЕОРИИ УПРУГОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ АЛЬТЕРНИРУЮЩЕГО  
МЕТОДА ШВАРЦА**

*Яковлев Максим Евгеньевич*

*аспирант, ассистент кафедры ФН-2, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва*

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

**SOLUTION OF CONTACT PROBLEM  
OF ELASTICITY BY SCHWARZ  
ALTERNATING METHOD**

*Maxim Yakovlev*

*graduate student, assistant, Moscow State Technical University,  
Moscow*

**АННОТАЦИЯ**

В работе рассмотрены особенности алгоритма численного решения контактных задач механики деформируемого твёрдого тела в сложных двухмерных областях. Решение построено в рамках конечно-элементной технологии на основе альтернирующего метода Шварца. Метод состоит в попеременном выполнении на контактной поверхности силовых и кинематических граничных условий. Проведён анализ напряжённо-деформированного состояния замкового соединения.

**ABSTRACT**

The paper discusses the features of the algorithm of numerical solution of contact problems of solid mechanics in complex two-dimensional fields. The solution is constructed in the framework of finite element technology based on the Schwarz alternating method. The method consists of alternating between fulfilling the power and the kinematical boundary conditions on the contact surface. The stress-strain state of the tool joint is analyzed.

**Ключевые слова:** контактное взаимодействие упругих тел, метод Шварца, метод конечных элементов, итерационное решение.

**Keywords:** Contact interaction of elastic bodies, the Schwartz method, finite element method, the iterative solution.

Оценке надёжности и долговечности ответственных элементов конструкций предшествует анализ напряжённо-деформированного состояния с учетом особенностей контактного взаимодействия. Поскольку контакт — это основной метод приложения нагрузок к деформируемому телу, решение контактных задач является весьма важным и актуальным. Аналитические решения могут быть получены только для очень ограниченного класса задач механики деформируемого твердого тела, поэтому необходимым является дальнейшее развитие прикладных методов математического моделирования применительно к решению контактных задач механики с учетом неупругого деформирования материала исследуемых конструкций.

Актуальной является также проблема создания новых эффективных алгоритмов и на их основе современного прикладного программного обеспечения для решения контактных задач вычислительной механики. Ниже рассматривается алгоритм решения контактной задачи теории упругости, базирующийся на альтернирующем методе Шварца.

Математическая формулировка контактной задачи теории упругости включает: уравнения равновесия

$$\sigma_{ji,j}(\mathbf{u}(\mathbf{x})) = 0, \quad \mathbf{x} \in G^\alpha, \quad i, j = 1, 2, \quad \alpha \in \{A, B\}; \quad (1)$$

граничные условия

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = \mathbf{u}_0^\alpha(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in S_u^\alpha \subset \partial G^\alpha, \quad \alpha \in \{A, B\}; \quad (2)$$

$$\sigma_{ji}(\mathbf{u})n_j = p_i^\alpha(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in S_p^\alpha \subset \partial G^\alpha, \quad i, j = 1, 2, \quad \alpha \in \{A, B\}; \quad (3)$$

соотношения Коши

$$\varepsilon_{ij}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \left( u_{i,j}(\mathbf{x}) + u_{j,i}(\mathbf{x}) \right), \quad \mathbf{x} \in G^\alpha, \quad i, j = 1, 2, \quad \alpha \in \{A, B\}; \quad (4)$$

и определяющие уравнения в форме закона Гука

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\varepsilon}, \quad (5)$$

здесь  $\mathbf{D}$  — матрица Гука,  $\boldsymbol{\sigma} = \{\boldsymbol{\sigma}\}$  — вектор напряжений,  $\boldsymbol{\varepsilon} = \{\boldsymbol{\varepsilon}\}$  — вектор деформации,  $\mathbf{u}_0^\alpha(\mathbf{x})$  — вектор заданных перемещений точек поверхностей  $S_u^A$  и  $S_u^B$ ,  $p_i(\mathbf{x})$  — компоненты распределенной нагрузки  $\mathbf{p}_0^\alpha(\mathbf{x})$  на поверхностях  $S_p^A$  и  $S_p^B$ .

Кроме того, на поверхности контакта  $S_k$  должны быть выполнены условия контактного взаимодействия: кинематическое

$$u_n^A(\mathbf{x}) - u_n^B(\mathbf{x}) = \delta_n(\mathbf{x}); \quad (6)$$

и силовое

$$p_n^B(\mathbf{x}) = -p_n^A(\mathbf{x}) \leq 0, \quad (7)$$

где:  $u_n^A$ ,  $u_n^B$  — проекции перемещений граничных точек на внешнюю нормаль к границе тела  $B$ ;

$\delta_n$  — начальное расстояние по нормали между граничными точками;

$\sigma_n^A$ ,  $\sigma_n^B$  — составляющие поверхностных сил по внешней нормали к границе тела  $B$ . Соотношения (6) и (7) соответствуют случаю, когда трение не учитывается.

Для решения контактной задачи (1)—(7) был использован алгоритм, основанный на альтернирующем методе Шварца [3—5]. Данный метод является итерационным. Его суть состоит в следующем. В *первом шаге* на контактных поверхностях тел  $A$  и  $B$  соответственно  $S_k^A$  и  $S_k^B$  задают начальные перемещения  $\mathbf{u}(\mathbf{x})|_{S_k^A} = \mathbf{u}_A^0(\mathbf{x})$  и  $\mathbf{u}(\mathbf{x})|_{S_k^B} = \mathbf{u}_B^0(\mathbf{x})$ , которые имеют смысл дополнительных кинематических условий.

Далее решают независимо две подобные задачи теории упругости для тел  $A$  и  $B$ . Затем вычисляют поверхностные силы  $\mathbf{p}_k^A(\mathbf{x})$  и  $\mathbf{p}_k^B(\mathbf{x})$  на контактных поверхностях  $S_k^A$  и  $S_k^B$  и корректируют их так, чтобы выполнялись силовые контактные условия (7).

Во *втором шаге* на контактных поверхностях  $S_k^A$  и  $S_k^B$  задают силовые контактные условия, в качестве которых используют скорректированные поверхностные силы  $\mathbf{p}_k^A(\mathbf{x})$  и  $\mathbf{p}_k^B(\mathbf{x})$ , и вновь решают независимо задачи теории упругости отдельно для тел  $A$  и  $B$ . По результатам полученных решений, выполняют коррекцию компонент векторов перемещений  $\mathbf{u}_k^A(\mathbf{x})$  и  $\mathbf{u}_k^B(\mathbf{x})$  соответственно точек контактных поверхностей  $S_k^A$  и  $S_k^B$  с тем, чтобы выполнялись кинематические условия контактного взаимодействия (6). Скорректированные перемещения точек контактных поверхностей  $\mathbf{u}_k^A(\mathbf{x})$  и  $\mathbf{u}_k^B(\mathbf{x})$  рассматривают в качестве новых кинематических граничных условий на геометрически измененных поверхностях контакта  $S_k^A$  и  $S_k^B$  и вновь решают независимо задачи теории упругости отдельно для тел  $A$  и  $B$ .

Для численного решения контактной задачи был использован метод конечных элементов [1]. Рассмотрим контакт двух тел  $A$  и  $B$ . Пронумеруем узлы контактных поверхностей  $S_k^A$  и  $S_k^B$  и введем в рассмотрение векторы —  $\{U_k\}_{(\alpha)}$  и  $\{R_k\}_{(\alpha)}$ ,  $\alpha = A, B$ , первый из которых составлен из компонент перемещений  $\mathbf{u}$  и  $\mathbf{v}$  узлов, расположенных на контактной поверхности  $S_k^{(\alpha)}$ , а второй — из компонент  $\mathbf{f}$  и  $\mathbf{g}$  узловых сил тех же узлов.

Последовательно для каждого тела в соответствии с алгоритмом выполняется коррекция компонент векторов  $\{U_k\}_{(\alpha)}$  и  $\{R_k\}_{(\alpha)}$ ,  $\alpha = A, B$ . Коррекция компонент векторов  $\{U_k\}_{(\alpha)}$  и  $\{R_k\}_{(\alpha)}$ ,

$\alpha = A, B$  реализуется поочередно: на каждой четной итерации корректируются компоненты вектора  $\left\{U_k\right\}_{(\alpha)}$ , а на нечетной итерации —  $\left\{R_k\right\}_{(\alpha)}$ .

Коррекция компонент вектора  $\left\{U_k\right\}_{(A)}$  выполняется в соответствии с соотношением

$$\left\{u\right\}_{(A),m}^{2n} = \begin{cases} \left\{u^0\right\}_{(A),m} \\ \left\{v^0\right\}_{(A),m} \end{cases}, \quad n = 0; \\ \left\{u\right\}_{(A),m}^{2n-1} + \alpha_{(A),m}^{2n-1} \left( \left\{u\right\}_{(B),s}^{2n-1} - \left\{u\right\}_{(A),m}^{2n-1} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (8)$$

где:  $\alpha_{(A),m}^{2n-1}$  — итерационный параметр,

$m$  ( $1 \leq m \leq M$ ) — узел, лежащий на контактной поверхности

$S_k^A$  тела  $A$ ,

$\left\{u\right\}_{(B),s}^{2n-1}$  — вектор перемещений сходственной точки  $S$ ,

лежащей на контактной поверхности  $S_k^B$  тела  $B$ .

Для коррекции компонент вектора контактных узловых сил  $\left\{R_k\right\}_{(A)}$  используется формула

$$\left\{f\right\}_{(A),m}^{2n+1} = \left\{f\right\}_{(A),m}^{2n} - \alpha_{(A),m}^{2n} \left( \left\{f\right\}_{(B),s}^{2n} + \left\{f\right\}_{(A),m}^{2n} \right), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (9)$$



здесь  $\alpha_{(A),m}^{2n}$  — итерационный параметр,  $m$  ( $1 \leq m \leq M$ ) — узел, лежащий на контактной поверхности  $S_k^A$  тела  $A$ ,  $\left\{ \begin{matrix} f \\ g \end{matrix} \right\}_{(B),s}^{2n}$  — вектор контактных узловых сил сходственной точки  $S$ , лежащей на контактной поверхности  $S_k^B$  тела  $B$ .

Пусть для определенности  $\alpha = A$  и  $1 \leq m \leq M_A$ . На четных итерациях и нечетных итерациях итерационные параметры  $\alpha_{(\alpha),m}^{2n-1}$  и  $\alpha_{(A),m}^{2n}$  соответственно определяются с помощью выражений

$$\alpha_{(A),m}^{2n-1} = \frac{\|u_m^{2n-1}\|}{\|u_m^{2n-1}\| + \|u_s^{2n-1}\|}, \quad \alpha_{(A),m}^{2n} = \frac{\|R_m^{2n}\|}{\|R_m^{2n}\| + \|R_s^{2n}\|} \quad (10)$$

где:  $\|u_m^{2n-1}\|$  — норма вектора перемещения  $u_m^{2n-1}$  узла  $m$  ( $1 \leq m \leq M_A$ ), лежащего на контактной поверхности  $S_k^A$  тела  $A$ ,

$\|u_s^{2n-1}\|$  — норма вектора перемещения  $u_s^{2n-1}$  сходственной

точки  $S$ , лежащей на контактной поверхности  $S_k^B$  тела  $B$ ,

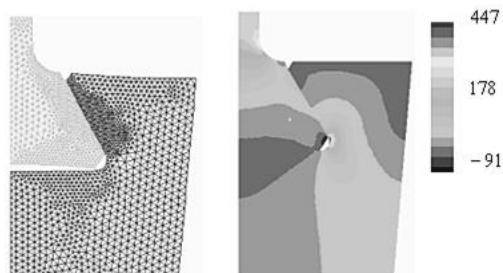
$\|R_m^{2n}\|$  — норма вектора контактных сил  $R_m^{2n}$  узла  $m$ ,

$\|R_s^{2n}\|$  — норма вектора контактных сил  $R_s^{2n}$  сходственной

точки  $S$  [4].

Описанный выше алгоритм был использован для расчета НДС замковых соединений типа “ласточкин хвост” лопаток и дисков компрессора. Изучалось распределение напряжений в наиболее напряженной области соединений — пазах дисков. Геометрические параметры соединения взяты из работы [2]. В силу симметрии для всех деталей рассматривается правая половина.

Предполагалось, что нагрузка на лопатку моделируется приложением к верхней грани верхнего тела растягивающей распределенной нагрузки  $\sigma_0 = 250$  МПа. На рис. 1 показано распределение напряжений, действующих в направлении растягивающей нагрузки.



**Рисунок 1. Распределение компоненты тензора напряжения  $\sigma_{22}$  (МПа)**

#### **Выводы:**

Разработан алгоритм решения контактной задачи с учетом упругопластической деформации, основанный на альтернирующем методе Шварца. Проведено исследование НДС замкового соединения типа «ласточкин хвост» диска и лопатки компрессора с учетом контактного взаимодействия.

#### **Список литературы:**

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. — 542 с.
2. Мавлютов Р.Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций. М.: Наука, 1996. — 240 с.
3. Можаровский Н.С., Качаловская Н.Е. Приложение методов теории пластичности и ползучести к решению инженерных задач машиностроения: В 2 т. Т. 2: Методы и алгоритмы решения краевых задач. К.: Выща школа, 1991. — 287 с.
4. Станкевич И.В., Яковлев М.Е., Си Ту Хтет. Разработка алгоритма контактного взаимодействия на основе альтернирующего метода Шварца // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. — 2011. — Спец. вып. Прикладная математика. — С. 134—141.
5. Цвик Л.Б. Принцип поочередности в задачах о сопряжении и контакте твердых деформируемых тел. // Прикл. Мех. — 1980 — т. 16, Ш I — С. 13—18.

## СЕКЦИЯ 4.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СВЕРХМОЩНОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СТАДИЙ ПЛАВКИ ПО ВЫСШИМ ГАРМОНИКАМ ТОКОВ ДУГ

***Николаев Александр Аркадьевич***

*канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,*

*г. Магнитогорск*

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

***Ануфриев Антон Владимирович***

*аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,*

*г. Магнитогорск*

*E-mail: [anufriev.av@mmk.ru](mailto:anufriev.av@mmk.ru)*

***Корнилов Геннадий Петрович***

*д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,*

*г. Магнитогорск*

*E-mail: [korn\\_mgn@mail.ru](mailto:korn_mgn@mail.ru)*

***Ивекеев Владимир Сергеевич***

*магистрант кафедры электроснабжения промышленных предприятий,  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск  
E-mail: [vivekeev@yandex.ru](mailto:vivekeev@yandex.ru)*

***Ложкин Игорь Александрович***

*студент кафедры электроснабжения промышленных предприятий,  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск  
E-mail: [igor-yoha@yandex.ru](mailto:igor-yoha@yandex.ru)*

**IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE ULTRA-HIGH  
POWER ELECTRIC ARC FURNACE BY THE USE THE  
DIAGNOSTIC SYSTEM OF MELTING STAGES WITH  
INFORMATION ABOUT ARCS' HARMONICS**

***Alexander Nikolaev***

*candidate of Science, associate professor of Power Supply Systems  
of Industry department, Magnitogorsk State Technical University  
named after G.I. Nosov,  
Magnitogorsk*

***Anton Anufriev***

*postgraduate student of Power Supply Systems of Industry department,  
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov,  
Magnitogorsk*

***Gennady Kornilov***

*doctor of Science, Professor, head of Power Supply Systems of Industry  
department, Magnitogorsk State Technical University  
named after G.I. Nosov,  
Magnitogorsk*

**Vladimir Ivekeev**

*master's Degree student of Power Supply Systems of Industry department,  
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov,  
Magnitogorsk*

**Igor Lozhkin**

*student of Power Supply Systems of Industry department,  
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov,  
Magnitogorsk*

*Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-4182.2013.8)*

### **АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрены основные принципы оптимизации электрических режимов современных дуговых сталеплавильных печей. Приведено описание разработанной системы диагностики стадий плавки, позволяющей снизить время цикла и уменьшить удельный расход электроэнергии дуговой печи. На примере ДСП-180 ОАО «ММК» показана эффективность применения разработанной системы.

### **ABSTRACT**

The paper describes the main concept of optimization of electric arc furnaces' electrical regimes. A description of the developed system diagnostic of melting stages, which can reduce a melting cycle time and specific electrical energy consumption, is presented. On the example of the EAF-180 OJSC "MMK" the efficiency of application developed system are considered.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь; система управления электрическими режимами; диагностика стадий плавки; высшие гармоники тока; электрическая дуга.

**Keywords:** electric arc furnace; control system of the electrical regimes; melting stages diagnostic; current higher harmonics; electric arc.

Электрометаллургия — это быстроразвивающаяся металлургическая отрасль. На сегодняшний день 50 % жидкой стали на Западе и в Европе получают в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Кислородно-конверторное производство постепенно отходит на задний план. В России в 2011 г было выплавлено в дуговых

сталеплавильных печах 21 % от общего производства стали. ДСП по своей сути является уникальным и многогранным объектом, сочетающим в себе металлургию, электротехнику, гидравлику и другие научные области.

В процессе плавки металла в ДСП необходимо регулировать мощность дуг, изменяя количество энергии вводимой в печь [1, 2]. Активная мощность дуг в дуговых печах регулируется путем изменения вторичного напряжения печного трансформатора, а при постоянном напряжении путем изменения тока в электрическом контуре печи. Для поддержания заданного значения тока фазы и, соответственно, мощности дуги, используется система автоматического перемещения электродов. В настоящее время основными производителями этих систем являются следующие фирмы: “Siemens VAI” и “VATRON” (системы управления “SIMELT” и “ARCOS NT”), “Danieli” (система управления “HI-REG”), “Amec Spie” (система управления “E.M.P.E.R.E”).

Система управления электрическим режимом ДСП, как правило, выполняется двухуровневой (рис. 1) [4].

Исходными параметрами для системы управления нижнего уровня являются: ступень трансформатора  $N_{TR}$ , ступень реактора  $N_R$  и номер рабочей кривой  $N_{OC}$ . В соответствии со значениями этих параметров, система перемещения электродов формирует сигнал задания на рабочую величину электрического контура, в качестве которой могут выступать следующие параметры: полное сопротивление (импеданс) фазы электрической цепи на вторичной стороне печного трансформатора, активное сопротивление дуги, напряжение дуги, ток дуги, мощность дуги, проводимости фаз ДСП.

На втором более высоком уровне происходит идентификация стадий плавки, а по ней — выбор соответствующей рабочей кривой, ступеней трансформатора и реактора, которые формируют задание для системы нижнего уровня. Входными сигналами типовой системы управления являются: номер профиля плавки, определяемый исходным составом шихты, и количество электроэнергии, введенной в печь с начала плавки.



регулятор, работающий в режиме поддержания импеданса (на начальных стадиях) и поддержания активного сопротивления дуги (на конечных стадиях). Расчет фактических значений полных сопротивлений осуществляется на основе мгновенных значений фазных напряжений и токов на вторичной стороне трансформатора.

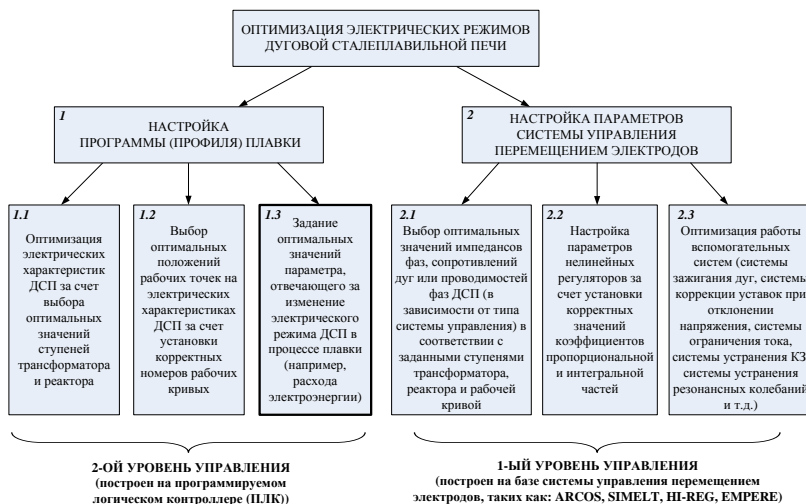
Фактическое значение  $Z_{ACT}$  сравнивается с заданием  $Z_{REF}$ , после чего сигнал ошибки преобразуется регулятором в сигнал задания на расход жидкости в гидроприводе. Этот сигнал поступает на задатчик интенсивности, выход которого соединен с сервоклапаном, осуществляющим регулирование расхода рабочей жидкости в гидроцилиндре привода перемещения электродов.

Помимо перечисленных элементов, система управления перемещением электродов содержит вспомогательные блоки, осуществляющие зажигание электрической дуги, контроль уровня тока, выявление и устранение длительных эксплуатационных коротких замыканий, коррекцию уставки регулятора в функции отклонения напряжения, устранение резонансных колебаний консолей с электродами и т. д. Некоторые из перечисленных блоков также приведены на рис. 1.

На рис. 2 приведена блок-схема, описывающая классическую задачу оптимизации электрических режимов современной ДСП [2]. Здесь можно выделить два основных этапа: 1) настройка программы (профиля) плавки; 2) настройка параметров системы управления перемещением электродов.

На первом этапе выполняется выбор оптимальных электрических характеристик ДСП для каждой стадии плавки за счет выставления ступеней трансформатора и реактора. После чего, производится выбор оптимальной рабочей кривой, определяющей положение рабочей точки на электрической характеристике ДСП ( $P_d = f(I_d)$ ). Важнейшим этапом настройки системы задания профиля является определение граничных значений параметра, отвечающего за переход с одной стадии плавки на другую. В качестве такого параметра, как правило, используют расход электроэнергии  $W_\Sigma$ , измеренный на вторичной стороне печного трансформатора.





**Рисунок 2. Классическая задача оптимизации электрических режимов современной ДСП**

На втором этапе осуществляют настройку параметров системы управления перемещением электродов. Данный процесс может быть разделен на три стадии. На первой стадии осуществляют расчет и задание оптимальных значений переменных, по которым осуществляется поддержание рабочей точке на электрической характеристике. Ими могут выступать: импеданс или проводимость фазы ДСП на вторичной стороне трансформатора, активное сопротивление дуги, напряжение, мощность или ток дуги. На второй стадии добиваются оптимальных динамических показателей качества регулирования системы за счет выставления корректных значений коэффициентов нелинейных пропорционально-интегральных регуляторов. На последней стадии оптимизируют работу вспомогательных систем.

Необходимо отметить, что не все перечисленные задачи оптимизации могут быть решены силами простых цеховых специалистов, поскольку существующие системы управления, поставляемые зарубежными фирмами производителями, имеют закрытую структуру функциональных блоков, затрудняющую коррекцию и оптимизацию электрических режимов ДСП с учетом местных условий и технологических особенностей. Обслуживание подобных закрытых систем также связано со значительными эксплуатационными затратами, вызванными участием иностранных специалистов в поддержании их работоспособности.

Также очень часто системы управления ДСП в сложившихся технологических условиях не обеспечивают достижение заданных временных показателей работы — времени работы под током и времени цикла плавки, оговоренных в контракте [2, 3]. Данная проблема может быть обусловлена многими причинами, в том числе: несовершенной системой задания профиля плавки, с эмпирическими критериями перехода с одной стадии на другую и отсутствием информации о фактической стадии плавки.

Как было сказано ранее большинство существующих систем управления используют расход электроэнергии  $W_{\Sigma}$  в качестве основного параметра для перехода с одной стадии плавки на другую. Значения этого параметра подбираются специалистами фирм-поставщиков экспериментальным путем на начальном этапе эксплуатации ДСП. При этом переключения ступеней трансформатора и реактора, а также изменение рабочей кривой дуговой печи в зависимости от  $W_{\Sigma}$  является самым простым способом ведения плавки, сильно зависящим от исходных факторов: шихтовки (доля лома и чугуна), работы РСВ горелок, качества и температуры лома, работы инжекторов углерода и т. д.

По причине того, что данный принцип не позволяет точно задать границы технологических стадий и своевременно осуществить переход с одной стадии на другую (переключить ступени трансформатора/реактора и изменить номер рабочей кривой), ДСП может определенное время работать с неоптимальными электрическими режимами, что приводит к снижению производительности печи из-за увеличения времени работы под током и цикла плавки.

Таким образом, актуальной задачей является разработка усовершенствованной системы управления электрическим режимом ДСП, в которой переход с одной стадии плавки на другую осуществлялся бы с использованием параметра, наиболее точно отражающего текущую технологическую стадию.

Исследования, проведенные на действующем оборудовании дуговых сталеплавильных печей различного класса, показали, что одним из параметров, имеющим хорошую корреляцию с технологическими стадиями плавки, является коэффициент искажения синусоидальности кривой тока дуги  $K_1$ . Данный коэффициент характеризует общее содержание высших гармоник тока по отношению к основной гармонике ( $K_1 = \left[ \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(2)}^2 + I_{(3)}^2 + \dots + I_{(n)}^2} / I_{(1)} \right] \cdot 100\%$ ),

где  $I_{(n)}$  — действующее значение n-ой гармонической составляющей.

Западное обозначение этого коэффициента — THD (total harmonic distortion).

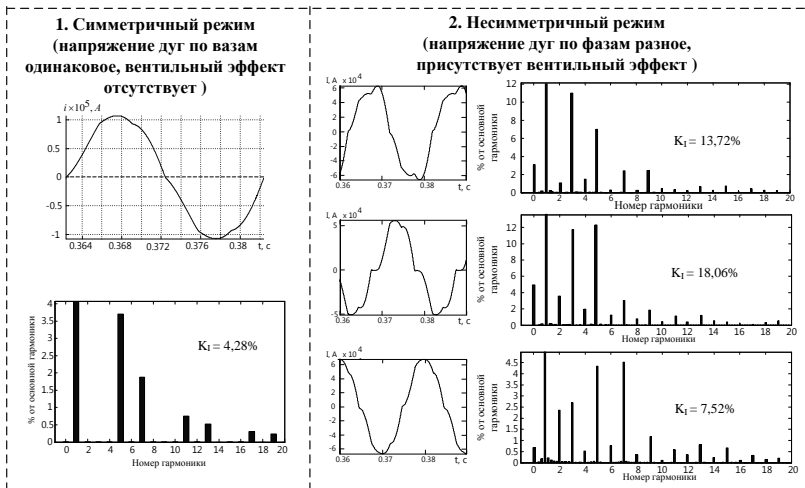
В процессе плавки коэффициент  $K_1$ (THD) изменяется в широких пределах от 20 до 4 %. Большие значения коэффициента соответствуют начальным стадиям расплавления — зажиганию дуг и проплавлению колодцев. В основной период расплавления величина  $K_1$  уменьшается до 10 %, а на конечной стадии плавки в период нагрева металла под слоем вспененного шлака эта величина снижается до 4—5 %.

В отличие от расхода электроэнергии  $W_{\Sigma}$  параметр  $K_1$  несет в себе реальную информацию о текущих технологических стадиях. Исследования показали, что на гармонический состав токов дуг влияют следующие факторы: 1) симметрия длин и напряжений дуг; 2) условия горения электрической дуги (температура и давление атмосферы, интенсивность охлаждения столба, наличие в атмосфере паров металла); 3) несимметрия полуволн переменного тока дуги при чередовании катода и анода на электроде и шихте, которая возникает из-за неодинакового процесса горения дуги между разогретым электродом и холодной шихтой (так называемый «вентильный эффект дуги»).

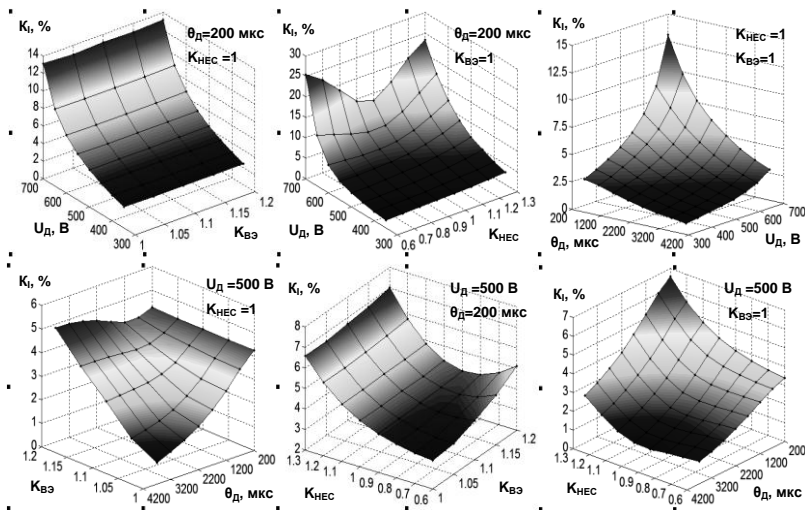
Несимметрия напряжений дуг и вентильный эффект являются причиной появления четных гармоник и постоянной составляющей в токах дуг. Условия горения электрической дуги влияют на форму динамической вольт-амперной характеристики и определяют содержание нечетных гармоник в токе. Случайный характер возмущений в ДСП, приводящий к стохастическому изменению длины дугового столба, вызывает появление в токах дуг промежуточных интергармоник.

На рис. 3 приведены результаты исследований гармонического состава токов дуг при различных условиях работы ДСП. Данные результаты получены с использованием математической модели электрического контура ДСП [5] с представлением электрической дуги в виде нелинейного дифференциального уравнения Касси с различной тепловой постоянной времени дуги  $\Theta_d$ . Данная модель была реализована в математическом пакете Matlab с приложением Simulink.

Как видно из рисунка, симметрия напряжений и токов дуг оказывает сильное влияние на величину  $K_1$ . При одних и тех же условиях горения дуг значение этого показателя в симметричном и несимметричном режиме с присутствием вентильного эффекта может изменяться почти в пять раз.



*Рисунок 3. Исследование влияния режимов работы ДСП на гармонический состав токов дуг*



*Рисунок 4. Обобщенное исследование зависимостей коэффициента искажения синусоидальной кривой тока ДСП-180 при различных значениях длины дуги, коэффициента вентильного эффекта, несимметрии токов по фазам и тепловой постоянной времени*

На рис. 4 представлены поверхности коэффициента искажения синусоидальной кривой тока дуги при различных значениях длины дуги, коэффициента вентильного эффекта, несимметрии токов по фазам и тепловой постоянной времени дуги.

Анализ полученных характеристик показал, что сильное влияние на величину  $K_I$  оказывают параметры: напряжение дуги  $U_D$ , коэффициент несимметрии напряжений дуг  $K_{НЕС}$ , постоянная времени дуги  $\Theta_D$ . При этом: рост  $U_D$  увеличивает искажение кривой тока дуги;  $K_{НЕС} = U_D / U_{ДН}$  при длинных дугах оказывает сильное влияние, вызванное большим значением  $U_D$  и, следовательно, большим его отклонением; увеличение  $\Theta_D$  приводит к более стабильному режиму работы печи, что сказывается на уменьшении высших гармоник. В свою очередь изменение  $K_{ВЭ}$  влияет в меньшей степени на  $K_I$ , ввиду малых значений ( $<1.2$ ) и действует только во время работы печи на первых стадиях плавки.

Таким образом, коэффициент  $K_I$  может быть использован для определения стадий плавки ДСП, которые характеризуются различной величиной динамической несимметрии токов и разными условиями горения дуг.

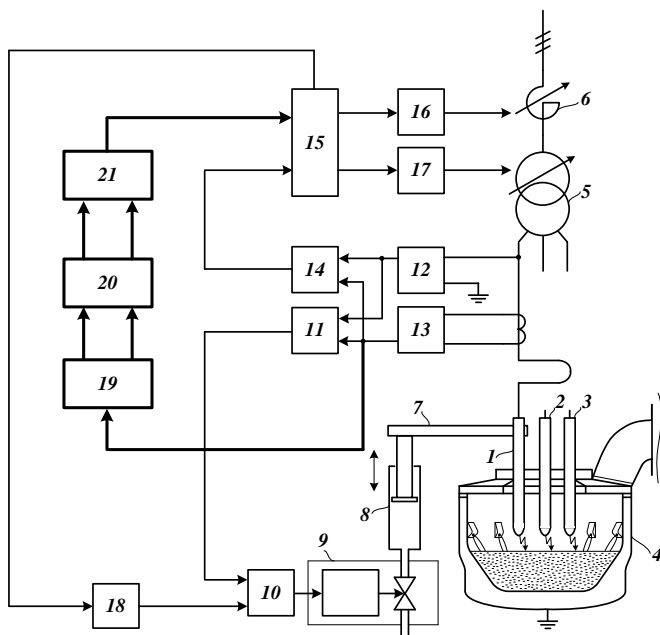
В современных системах управления ДСП, например, в системе ARCOS фирмы Siemens VAI информация о содержании высших гармоник в токе используется для определения уровня шлака в печи. Однако этот параметр не был использован для осуществления переключений ступеней трансформатора и реактора, а также изменения номера рабочей кривой.

На действующей сверхмощной ДСП-180 (150 МВА), функционирующей в электросталеплавильном цехе ОАО «ММК» в г. Магнитогорске была разработана подсистема диагностики стадий, которая позволяет контролировать процесс плавки и определять моменты времени, когда необходимо выполнить переход с одной стадии на другую. В качестве исходной информации здесь используется параметр  $THD_I$ , получаемый из действующей системы управления электрическим режимом 1-го уровня ARCOS NT. Данный параметр, в отличие от удельного расхода электроэнергии, имеет более выраженную взаимосвязь с реальными технологическими стадиями плавки, что позволяет использовать его в качестве правильной информации обратной связи. С помощью экспериментальных исследований, проведенных на дуговой печи, были определены диапазоны изменения и статистические характеристики параметра  $THD_I$  для каждой стадии плавки (зажигание дуг и плавление колодцев, образование расплавленного металла на дне ванны, плавление шихты,

раскрытие колодцев и доплавания, окисление и нагрев жидкого металла), на основе которых получена новая таблица для переключений трансформатора, реактора и рабочей кривой.

Принцип работы новой подсистемы следующий: с системы ARCOS NT, с помощью интерфейса связи Profibus, в промышленный контроллер Simatic S7-400 с интервалом в одну секунду поступают три сигнала, пропорциональные реальным значениям коэффициентов  $\text{THD}_I$  для каждой фазы («А», «В» и «С») электрического контура ДСП. Далее с помощью дополнительной программы эти сигналы подвергаются усреднению и статистической обработке, в частности, на 20 секундных интервалах определяются математическое ожидание, максимальное и минимальное значение, размах, дисперсия, стандартное отклонение и коэффициент вариации. После чего, осуществляется сравнение рассчитанных значений с эталонными, полученными из обработки большого количества экспериментальных данных. При возникновении несоответствия этих параметров в контроллере Simatic формируется разрешающий сигнал на переключение трансформатора, реактора и рабочей кривой, что позволяет реализовать своевременный переход с одной стадии на другую. Благодаря этому снижается время работы ДСП с неоптимальными электрическими режимами, уменьшается время работы под током и цикла плавки, и как следствие, увеличивается производительность ДСП.

Для реализации предложенных алгоритмов было проведено изменение программного обеспечения контроллера Simatic S7-400, отвечающего за управление профилями плавки и режимами работы печного трансформатора со встроенным реактором. В частности, в программный блок, отвечающий за формирование сигналов на переключение ступеней РПН трансформатора и реактора, а также сигналов управления для системы первого уровня AgCOS NT, был добавлен дополнительный код, который анализирует информацию о высших гармониках токов дуг. После статистической обработки этого сигнала с использованием специальной программы выделяется информация о текущей технологической стадии плавки и формируется корректирующий сигнал на переход с одной стадии на другую, который в случае необходимости корректирует основную программу переключения, работающую по удельному расходу электроэнергии.



**Рисунок 5. Упрощенная блок-схема усовершенствованной системы управления электрическим режимом дсп-180 с подсистемой диагностики стадий плавки по высшим гармоникам токов дуг (1, 2, 3 — электроды; 4 — ванна печи; 5 — печной трансформатор; 6 — реактор; 7 — электрододержатель; 8 — гидроцилиндр; 9 — сервоклапан; 10 — система управления первого уровня с регулятором импеданса; 12,13 — датчики тока и напряжения; 11 — блок расчета импеданса; 14 — блок расчета расхода электроэнергии; 15 — система управления второго уровня; 16,17 — исполнительные механизмы РПН реактора и трансформатора; 18 — блок выбора уставки импеданса; 19 — блок расчета коэффициента искажения синусоидальности кривой тока дуг и дисперсии тока дуг; 20 — блок усреднения; 21 — блок определения стадии плавки)**

Также в графический интерфейс системы главного окна управления ДСП-180 (система WinCC) было добавлено новое меню, позволяющее активировать переключение стадий плавки по высшим гармоникам токов дуг (рис. 6).

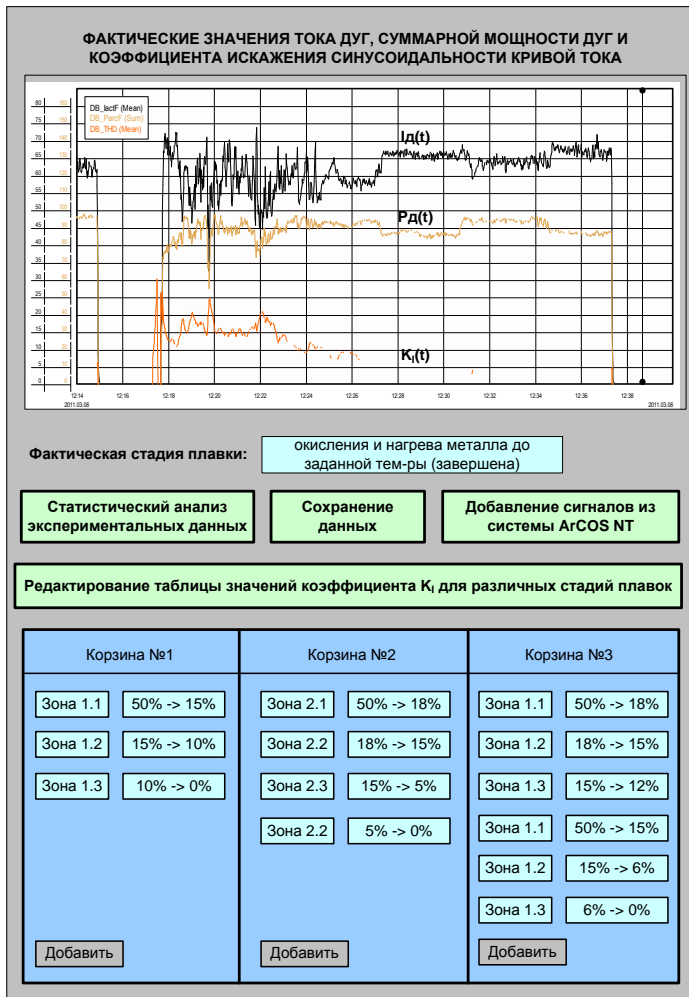
В данном окне приведены поля задания диапазонов коэффициента искажения синусоидальной кривой тока, где имеется возможность контролировать текущее содержание высших гармоник, определять текущую стадию плавки, проводить коррекцию таблицы с диапазонами значений параметра  $K_I$  (%), определяющими моменты перехода с одной стадии на другую. Также здесь имеется возможность проводить статистический анализ экспериментальных данных для уточнения граничных значений параметра  $K_I$  %, например, после внесения изменений в технологический процесс производства жидкой стали (использование нестандартной шихтовки плавки — долей скрапа и чугуна, изменение насыпной плотности лома и его качества и т. д.).

Для проверки эффективности разработанных алгоритмов на ДСП-180 ОАО «ММК» проводились экспериментальные плавки для двух различных режимов работы системы управления электрическим режимом: 1) с использованием исходных алгоритмов перехода с одной стадии на другую по удельному расходу электроэнергии; 2) с использованием подсистемы диагностики стадий плавки по высшим гармоникам токов дуг.

В процессе эксперимента анализировались основные электрические параметры ДСП-180 (рис. 7): 1) суммарная мощность электрических дуг  $P_{д\ сум}$  (МВт); 2) средний по фазам ток электрических дуг  $I_{д\ ср}$  (кА); 3) средний по фазам коэффициент искажения синусоидальности тока дуг  $K_I$ (%); 4) расход электрической энергии на вторичной стороне печного трансформатора  $W$  (МВт·ч) и его удельное значение на 180 т металла  $W_{уд}$  (МВт·ч/т). Также фиксировались и сравнивались с исходными следующие параметры ДСП-180: время работы под током  $T_{рт}$  (мин.) и время цикла плавки  $T_{ц}$  (мин.), удельный расход электроэнергии  $W_{уд}$  (МВт·ч/т).

Благодаря применению нового более информативного критерия перехода с одной технологической стадии плавки на другую — коэффициента искажения синусоидальности кривой тока дуг, стало возможным осуществлять переключения ступеней трансформатора, реактора и рабочей кривой в тот момент времени, когда происходит качественное изменение состояния расплавляемой шихты. Это обеспечивается за счет сравнения фактического значения параметра  $K_I$  со специальными диапазонами значений, определенными статистическим методом для каждой корзины (см. рисунок). Все это позволило увеличить среднюю производительность ДСП-180 на 5 % за счет сокращения среднего времени работы под током на 8 % (до 33 мин для шихты с наибольшим содержанием лома) и снизить удельный расход электроэнергии на 1 % (с 278,64 до 276 кВт·ч/т).



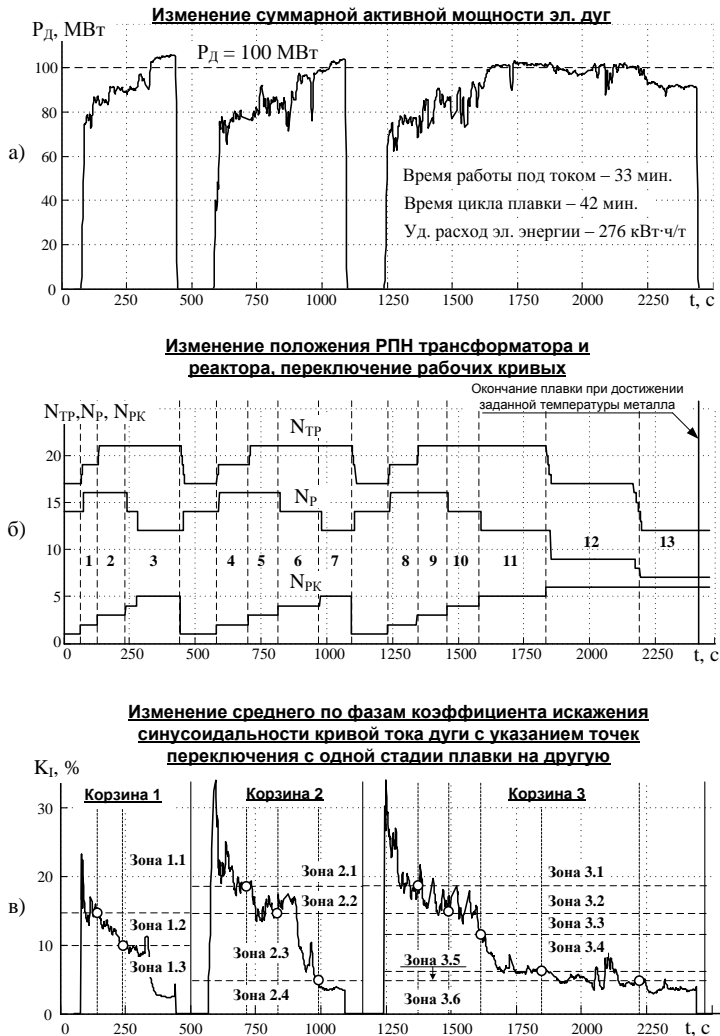


*Рисунок 6. Диалоговое окно усовершенствованной системы задания профиля плавки, с использованием диагностики стадий по высшим гармоникам токов дуг*

**Выводы:**

1. Детальный анализ структуры существующих систем управления электрическими режимами ДСП, что подсистемы задания профиля плавки осуществляют переход с одной стадии на другую

в соответствии со значением расхода электроэнергии, что не является эффективным, поскольку данный параметр не содержит информации о текущем состоянии расплавленного металла.



**Рисунок 7. Исследование разработанной системы диагностики стадий плавки ДСП-180**

2. Разработана структура, создан и реализован в виде программы алгоритм работы системы диагностики стадий плавки ДСП по содержанию высших гармоник в токах дуг.

3. Испытание разработанных систем в промышленных условиях подтвердило эффективность предлагаемых решений.

### **Список литературы:**

1. Агапитов Е.Б. Управление тепловым и электрическим режимами агрегата ковш-печь / Агапитов Е.Б., Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Ерофеев М.М., Николаев А.А. // *Электromеталлургия*. — 2006. — № 6. — С. 11—16.
2. Журавлев Ю.П. Способы управления электрическим режимом электродуговых печей / Журавлев Ю.П., Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Николаев А.А., Агапитов Е.Б. // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. — 2006. — № 4. — С. 76—80.
3. Журавлев Ю.П. Устройство управления электрическим режимом дуговой печи / Журавлев Ю.П., Великий А.Б., Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Храмшин Т.Р., Николаев А.А., Корнилов Д.А. // Патент на полезную модель RUS 98314 20.05.2010.
4. Корнилов Г.П. Повышение эффективности работы сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / Корнилов Г.П., Николаев А.А., Храмшин Т.Р., Шеметов А.Н., Якимов И.А. // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. — 2009. — № 1. — С. 55—59.
5. Николаев А.А. Повышение эффективности работы статического тиристорного компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2009.

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ  
ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА  
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ  
ПО СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЙ ВЕЛИЧИНЕ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ  
ТОКОВ СТАТОРА**

***Новожилов Александр Николаевич***

*д-р техн. наук, профессор  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар  
E-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)*

***Крюкова Елена Викторовна***

*магистр электроэнергетики, докторант PhD  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар  
E-mail: [lesla2003@mail.ru](mailto:lesla2003@mail.ru)*

***Исупова Наталья Александровна***

*магистр электроэнергетики, докторант PhD  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар  
E-mail: [natashaisu@mail.ru](mailto:natashaisu@mail.ru)*

***Новожилов Тимофей Александрович***

*магистр электроэнергетики, аспирант  
Омского государственного технического университета,  
г. Омск*

***Никитин Константин Иванович***

*д-р техн. наук, профессор  
Омского государственного технического университета,  
г. Омск  
E-mail: [nki@ngs.ru](mailto:nki@ngs.ru)*

**DIAGNOSTICS OF ECCENTRICITIES  
OF A ROTOR IN AN ASYNCHRONOUS MOTOR  
USING ROOT-MEAN-SQUARE VALUE  
OF ADDITIONAL HARMONIOUS  
THE STATOR'S CURRENT**

**Alexander Novozhilov**

*doctor of Technical Sciences, professor  
of Pavlodar State University of S. Toraighyrov,  
Pavlodar*

**Elena Krukova**

*master of power industry, PhD doctoral candidate  
of Pavlodar State University of S. Toraighyrov,  
Pavlodar*

**Nataliya Isupova**

*master of power industry, PhD doctoral candidate  
of Pavlodar State University of S. Toraighyrov,  
Pavlodar*

**Timofey Novozhilov**

*master of power industry, postgraduate student  
of Omsk State Technical University,  
Omsk*

**Konstantin Nikitin**

*doctor of Technical Sciences,  
professor of Omsk State Technical University,  
Omsk*

**АННОТАЦИЯ**

Предлагается способ диагностики эксцентриситета ротора асинхронного двигателя, основанный на измерении среднеквадратической величины дополнительных гармонических тока статора, вызванных неравномерностью воздушного зазора.

**ABSTRACT**

We propose a method for diagnosis of rotor eccentricity in an asynchronous motor based on measurement of the root-mean-square value of additional harmonious currents of the stator caused by air-gap irregularity.

**Ключевые слова:** Диагностика; асинхронный двигатель; эксцентриситет ротора; частотный анализ; дополнительные гармонические тока.

**Keywords:** Diagnostics; asynchronous motor; eccentricity of rotor; frequency analysis; additional harmonious of current.

**Постановка задачи.** В электроэнергетике и промышленности в основном используют асинхронные двигатели (АД). Одним из методов повышения их эксплуатационной надежности и увеличения срока службы является эффективная и своевременная диагностика повреждений, в частности эксцентриситета ротора. Однако по целому ряду причин выявить с высокой достоверностью статический эксцентриситет ротора в процессе эксплуатации не удается, так как известные способы недостаточно эффективны. В тоже время, как показывает практика эксплуатации АД, около половины из них длительное время работают со статическим эксцентриситетом ротора [1—7], что сопровождается значительными потерями электроэнергии. Решить эту проблему предлагается следующим образом.

**Диагностическим признаком** статического эксцентриситета ротора АД традиционно служат величины дополнительных гармонических в токах и магнитных полях АД, вызванные неравномерностью воздушного зазора. Их частоты в соответствии с [5—7] определяются как:

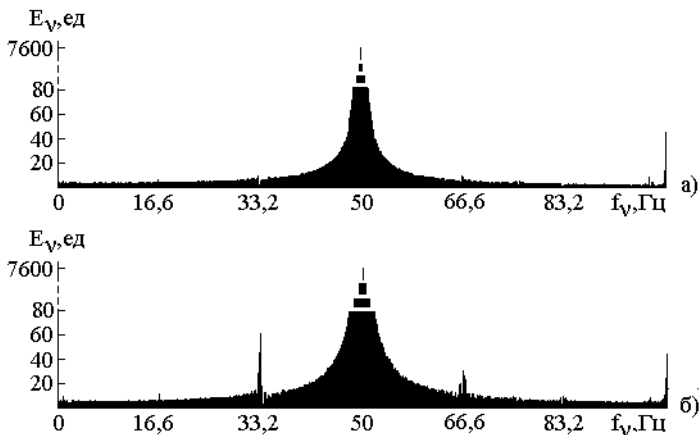
$$f_v = f_1(v \pm 1/p), \quad (1)$$

где:  $f_1$  — частота основной гармонической сети;

$p$  — число пар полюсов АД;

$v=1, 2, 3, \dots$  — номер гармоники сети.

Эти дополнительные гармонические хорошо видно на рисунке 1, где показаны спектрограммы полученных экспериментально ЭДС измерительного преобразователя  $e_{\text{ИП}}(t)$ , которые пропорциональны току фазы АД АО-41-6.



**Рисунок 1. Спектр частот тока фазы АД АО-41-6 при отсутствии эксцентриситета ротора (а) и при его наличии (б)**

Из спектрограмм видно, что появление эксцентриситета ротора вызывает изменение дополнительных токов с частотами 16,67 Гц, 33,34 Гц, 66,67 Гц и т. д. Характер изменения этих ЭДС в зависимости от величины эксцентриситета  $\varepsilon = d / \delta_0$  ротора в режиме холостого хода приведен в таблице 1, где  $d$  — величина смещения одного из подшипников ротора;  $\delta_0$  — величина воздушного зазора. Для простоты визуализации данные на рисунке 1 и в таблице 1 представлены в единицах измерения осциллографа на базе персонального компьютера с программным обеспечением «Елена — 2012».

Из таблицы 1 видно, что рост эксцентриситета ротора АД не всегда сопровождается ростом дополнительных гармонических ЭДС  $E_v$  с частотами  $f_v$ , определяемыми по (1). Причинами этого, в основном, являются колебание частоты сети, наличие вибраций АД и неравномерности момента сопротивления его нагрузки.

Таблица 1.

Характер изменения частот в зависимости от величины эксцентриситета  $\varepsilon$  ротора

$\varepsilon$ , о.е.	Величины гармонических $E_V$ с частотой $f_V$		
	16,6 Гц, ед	33,3 Гц, ед	66,6 Гц, ед
0,00	4,1	3,0	9,8
0,25	5,5	22,5	16
0,5	3,9	33	34
0,75	7,1	44	31
1,00	7,4	63	30,4

Становится ясно, что использование одной из этих гармонических в качестве источника информации не позволяет осуществить достоверную диагностику АД. При этом непонятно какую из этих гармонических для этого использовать.

От значительной части проблем при диагностике эксцентриситета ротора можно избавиться, если диагностировать в режиме холостого хода в течение достаточно длительного времени по среднеквадратичной величине гармонических составляющих с частотами  $f_V$  как:

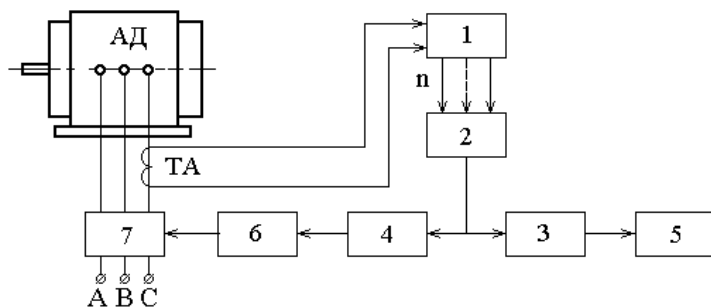
$$E_{СК} = \sqrt{(E_{V1}^2 + E_{V2}^2 + \dots + E_{Vn}^2) / n} \quad (2)$$

где  $n$  — число используемых гармонических составляющих с частотами  $f_V$ .

**Реализация устройства диагностики.** На рисунке 2 приведена блок-схема устройства для диагностики эксцентриситета ротора по среднеквадратичной величине гармонических составляющих ЭДС  $E_V$  с частотами  $f_V$ . У этого устройства сигнал  $e_{ИП}(t)$  с трансформатора тока ТА подается на вход фильтра 1, в котором и происходит выделение гармонических ЭДС  $E_V$  с частотами  $f_V$ . Затем в блоке 2 определяется их среднеквадратическая ЭДС  $E_{СК}$ ,



а пороговыми элементами 3 и 4 оценивается ее величина. Порогами срабатывания этих блоков считаются ЭДС  $E_{cp1}$  и  $E_{cp2}$ , величины которых  $E_{ск}$  достигает при эксцентриситете  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Если  $E_{ск} > E_{cp1}$ , то блок 5 информации выдает обслуживающему персоналу сигнал о наличии в АД эксцентриситета ротора, при котором перерасход электроэнергии составляет порядка 0,5—1,5 %.

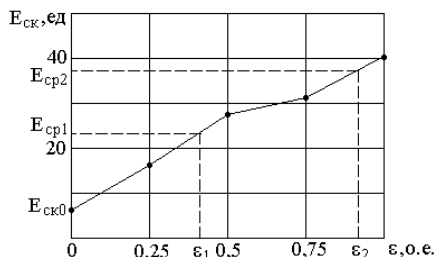


**Рисунок 2. Блок-схема устройства диагностики**

Если  $E_{ск} > E_{cp2}$ , то блок 6 сформирует сигнал на отключение АД с помощью выключателя 7, так как в этом случае резко возрастает вероятность задевания ротора за статор с тяжелыми последствиями для АД.

Величины  $E_{cp1}$  и  $E_{cp2}$  определяют по зависимости  $E_{ск}(\varepsilon)$  на рисунке 3 и величинам  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Зависимость  $E_{ск}(\varepsilon)$  построена по данным таблицы 1. Величины  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  можно принимать равными 0,2—0,35 и 0,7—0,85 в зависимости от конструкции и типа АД.

Следует добавить, что ЭДС  $E_{ск0}$  вызвана технологическим эксцентриситетом. Его величина определена техническим совершенством оборудования и квалификацией персонала завода, на котором этот АД изготавливался. У экспериментального двигателя АО-41-6  $E_{ск0} = 6,37$  ед.



**Рисунок 3. Определение порога срабатывания пороговых элементов**

### Выводы

1. Экспериментально выявлено, что рост эксцентриситета ротора АД не всегда сопровождается ростом всех дополнительных гармонических ЭДС с частотами  $f_v = f_1 / p[pv \pm 1]$  из-за электромеханических свойств АД и нагрузки, что делает невозможным выбор источника информации.

2. Использование среднеквадратичной величины нескольких гармонических составляющих с частотами  $f_v$  позволяет однозначно выявить не только наличие, но и величину эксцентриситета ротора.

### Список литературы:

1. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. М.: Энергия, 1981. — 351 с.
2. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. Л.: Энергия, 1975. — 296 с.
3. Клецель М.Я., Мануковский А.В., Новожилов А.Н. Защита асинхронного двигателя от эксцентриситета ротора //Электричество. — 2006. — № 7. — С. 63—67.
4. Корогодский В.И., Кужиков С.П., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. М.: Энергоатомиздат, 1987. — 248 с.
5. Новожилов А.Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете// Электротехника. — 1994. — № 11. — С. 45—47.
6. Новожилов А.Н., Антонцев А.В., Мануковский А.В., Исупова Н.А., Крюкова Е.В. Особенности построения системы диагностики электрических машин на базе персонального компьютера со встроенной звуковой картой // Электротехника. — 2012. — № 5. — С. 36—40.
7. Новожилов А.Н., Полищук В.И., Исупова Н.А. Обзор способов диагностики эксцентриситета ротора машин переменного тока // Изв. вузов. Электромеханика. — 2011. — № 6. — С. 26—29.

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН  
С ОДНОСТУПЕНЧАТЫМ ПОДОГРЕВОМ  
СЕТЕВОЙ ВОДЫ**

***Шубенко Александр Леонидович***

*чл.-кор. НАН Украины, д-р техн. наук, профессор,  
зав. отделом Института проблем машиностроения  
имени А.Н. Подгорного НАН Украины,  
г. Харьков*

*E-mail: [shuben@ipmach.kharkov.ua](mailto:shuben@ipmach.kharkov.ua)*

***Бабенко Ольга Анатольевна***

*канд. техн. наук Института проблем машиностроения  
имени А.Н. Подгорного НАН Украины,  
г. Харьков*

*E-mail: [ola\\_babenko@mail.ru](mailto:ola_babenko@mail.ru)*

**RATIONAL MODES OF OPERATE COGENERATION  
TURBINES WITH SINGLE HEATED NETWORK WATER**

***Alexander Shubenko***

*member of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department  
of A. Podgorny Institute for mechanical engineering problems,  
Kharkov*

***Olga Babenko***

*candidate of Technical Science,  
A. Podgorny Institute for mechanical engineering problems,  
Kharkov*

**АННОТАЦИЯ**

Показаны режимы эффективного использования сетевого подогревателя нижней ступени с целью получения дополнительной электрической энергии теплофикационной турбоустановкой ТЭЦ при неизменной тепловой нагрузке

## ABSTRACT

The modes of effective utilization network heater of the bottom step to obtain additional electric power of cogeneration turboplant at a constant heat load are shown

**Ключевые слова:** теплоэлектроцентраль, теплофикационная турбоустановка, подогреватель сетевой воды, режим отпуска теплоты, математическое моделирование.

**Keywords:** heat power station, cogeneration turbine, network water heater, heat tempering modes, mathematical modeling.

При анализе режимов работы мощных теплофикационных турбоустановок принято считать в соответствии с инструкцией по эксплуатации сетевых подогревателей и некоторыми литературными источниками [3, 4, 6], что оптимальным способом обеспечения температурного графика теплосети является регулирование температуры сетевой воды на выходе теплофикационной установки путем изменения давления в теплофикационных отборах таким образом, что распределение тепловой нагрузки между сетевыми подогревателями нижней (ПС-1) и верхней (ПС-2) ступеней выбирается равным, т. е.

$$Q_{т1} = Q_{т2}, \quad (1)$$

где:  $Q_{т1}$  и  $Q_{т2}$  — тепловая нагрузка на подогреватели ПС-1 и ПС-2 соответственно, МВт.

Данный способ регулирования температуры сетевой воды в теплофикационных установках турбин типа Т-50/60-130, Т-100/120-130, Т-180/210-130 и Т-250/300-240 [1] осуществляется путем пропуска сетевой воды последовательно через сетевой подогреватель нижней ступени, сетевой подогреватель верхней ступени и байпасную линию для перепуска сетевой воды из обратной магистрали в прямую. Регулируемое давление поддерживается только в одном из двух отборов: в верхнем — при включенных обоих сетевых подогревателях или в нижнем — при включенном одном подогревателе сетевой воды нижней ступени. В то же время в [1, 2, 6] отмечается возможность эффективного использования только подогревателя нижней ступени при сохранении тепловой нагрузки.

Целью данной работы является оценка возможностей получения дополнительной электрической мощности при нагреве сетевой воды только в подогревателе нижней ступени путем регулирования температуры сетевой воды в определенном диапазоне изменения

температуры наружного воздуха, исключая недогревы и перегревы сетевой воды на выходе теплофикационной установки.

Таким образом, весь расход сетевой воды проходит через сетевой подогреватель ПС-1 нижней ступени и по перемычке от трубопровода, соединяющего сетевые подогреватели ПС-1 и ПС-2, и части трубопровода байпаса отводится в прямую магистраль. Температура сетевой воды в прямой магистрали регулируется изменением расхода пара в подогреватель нижней ступени с помощью поворотной диафрагмы 1-ой ступени в цилиндре низкого давления турбины.

Для обоснования положительного эффекта, полученного при использовании рассматриваемого способа, с помощью разработанного в Институте проблем машиностроения НАН Украины программного компьютерного комплекса [5] выполнено расчетное исследование тепловых и электрических нагрузок для турбины Т-100/120-130 при работе на номинальном режиме, когда расход свежего пара равен 440 т/ч. В качестве базового варианта принят двухступенчатый подогрев сетевой воды с равным распределением тепловой нагрузки между подогревателями.

В процессе исследования изменялись режимные параметры: расход свежего пара на входе в турбину, расход сетевой воды на подогреватели и тепловая нагрузка в диапазоне изменения температуры наружного воздуха от  $-11$  до  $10$  °С и выше. Причем, диапазон  $-11 \leq t_{\text{нв}} \leq 10$  °С отвечает работе сетевых подогревателей по температурному графику, а диапазон  $10 \text{ °С} \leq t_{\text{нв}} \leq t_{\text{нв}}^{\text{max}}$  – летней тепловой нагрузке, когда температура сетевой воды в прямой и обратной магистрали практически не меняется ( $t_{\text{пр}}=77$  °С,  $t_{\text{обр}}=46$  °С).

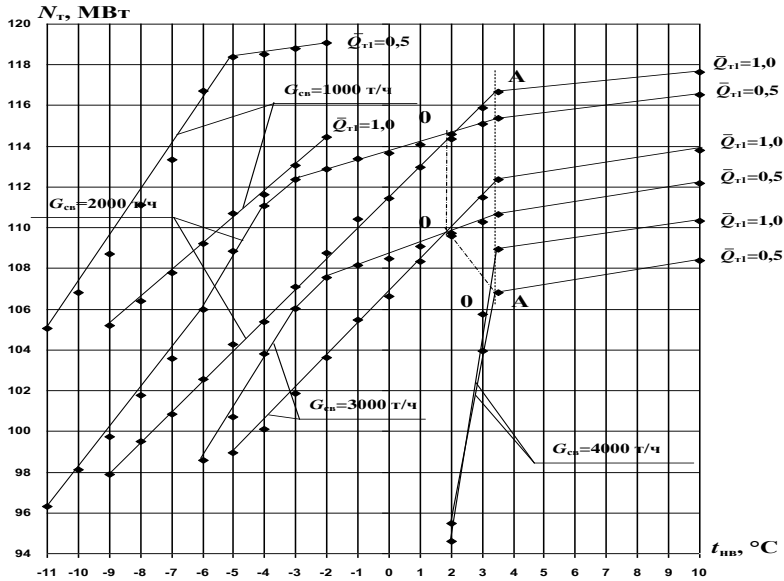
В качестве конечной целевой функции выступает увеличение электрической мощности турбоустановки  $\Delta N_{\text{т}}$ , т. е. разница мощностей при работе турбины с одноступенчатым  $N_{\bar{Q}_{\text{т1}}=1,0}$  и двухступенчатым

$N_{\bar{Q}_{\text{т1}}=0,5}$  подогревом сетевой воды

$$\Delta N_{\text{т}} = N_{\bar{Q}_{\text{т1}}=1,0} - N_{\bar{Q}_{\text{т1}}=0,5} \quad (2)$$

Здесь  $\bar{Q}_{\text{т1}} = Q_{\text{т1}}/Q_{\text{т}} = 1,0$  характеризует режим работы турбоустановки с одним сетевым подогревателем нижней ступени ПС-1;  $\bar{Q}_{\text{т1}} = 0,5$  — с двумя сетевыми подогревателями нижней ПС-1 и верхней ПС-2 ступеней при равном распределении тепловой нагрузки между ними.

По результатам расчетного исследования на рис. 1 приведен график изменения мощности турбины Т-100/120-130 в зависимости от температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  и расхода сетевой воды  $G_{\text{св}}$  при значениях  $\bar{Q}_{\text{т1}} = 1,0$  и  $\bar{Q}_{\text{т1}} = 0,5$ . Линия А-А отвечает излому на температурном графике при  $t_{\text{нв}} = 3,5$  °С.



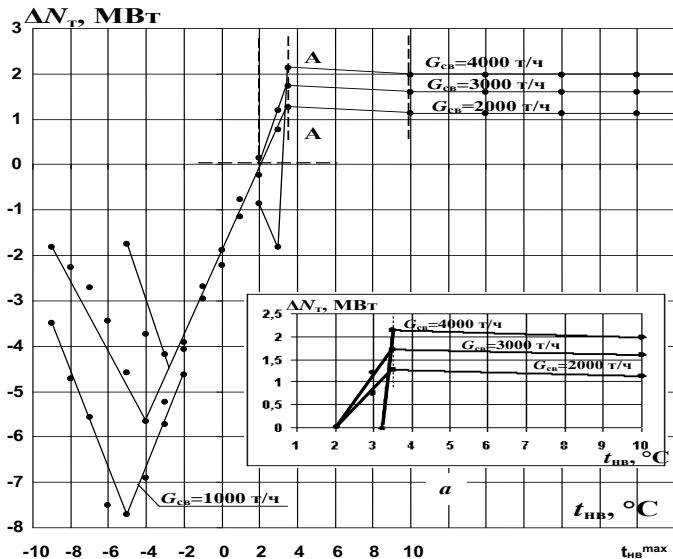
**Рисунок 1. Сравнительные характеристики изменения мощности турбоустановки с одним  $\bar{Q}_{\text{т1}} = 1,0$  и двумя при равном распределении тепловой нагрузки  $\bar{Q}_{\text{т1}} = 0,5$  подогревателями сетевой воды**

Как видно, в диапазоне изменения температуры наружного воздуха  $-11 \leq t_{\text{нв}} \leq -2,0$  °С, когда расход сетевой воды составляет  $G_{\text{св}} = 1000$  т/ч, рациональным является режим работы турбоустановки с двумя сетевыми подогревателями при равном распределении тепловой нагрузки между ними ( $\bar{Q}_{\text{т1}} = 0,5$ ). При  $t_{\text{нв}} > -2,0$  °С и таком же расходе сетевой воды требуемая температура в прямой магистрали не поддерживается. Для температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}} \geq 2,0$  °С при расходах сетевой воды 2000; 3000 и 4000 т/ч мощность турбины при работе только с одним подогревателем нижней ступени ( $\bar{Q}_{\text{т1}} = 1,0$ )

превышает мощность турбины на режимах с двумя последовательно включенными подогревателями при  $\bar{Q}_{T1} = 0,5$ .

Таким образом, для области изменения температуры наружного воздуха  $2,0 \leq t_{\text{нв}} \leq 10^\circ\text{C}$  и выше выполняется условие  $\Delta N_T > 0$  и рассматриваемый способ ( $\bar{Q}_{T1} = 1,0$ ) обеспечивает получение дополнительной электрической мощности. В области  $t_{\text{нв}} \leq 2,0^\circ\text{C}$  прироста мощности не происходит ( $\Delta N_T < 0$ ), поэтому целесообразна работа турбоустановки с двумя последовательно включенными сетевыми подогревателями нижней ПС-1 и верхней ПС-2 ступеней при равном распределении тепловой нагрузки между ними ( $\bar{Q}_{T1} = 0,5$ ). Отсутствие прироста мощности  $\Delta N_T = 0$  отвечает линии с точками нулевых значений (рис. 1).

На рис. 2 показан прирост мощности турбины  $\Delta N_T$ , полученный согласно рис.1, в исследованном диапазоне изменения температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  при постоянных значениях расхода сетевой воды  $G_{\text{св}}$ , равных 1000; 2000; 3000 и 4000 т/ч.

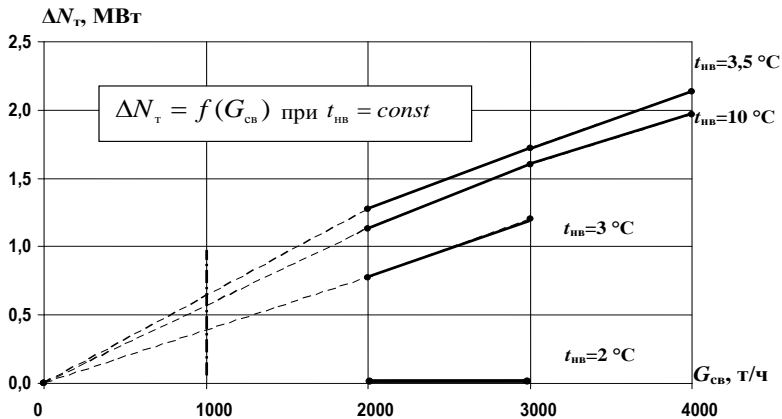


**Рисунок 2.** Прирост мощности турбины на режимах работы с одним подогревателем нижней ступени ПС-1 и с двумя подогревателями нижней ПС-1 и верхней ПС-2 ступеней при равном распределении тепловой нагрузки между ними

В диапазоне изменения температуры наружного воздуха  $10^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{нв}} \leq t_{\text{нв}}^{\text{max}}$  (летом для горячего водоснабжения) на значение  $\Delta N_{\text{T}}$  влияет только изменение расхода сетевой воды  $G_{\text{св}}$  (рис. 2). В диапазоне  $3,5 \leq t_{\text{нв}} \leq 10^{\circ}\text{C}$  прирост мощности турбины  $\Delta N_{\text{T}}$  несколько увеличивается, а в диапазоне  $2,0 \leq t_{\text{нв}} \leq 3,5^{\circ}\text{C}$  — резко уменьшается, особенно при расходе сетевой воды  $G_{\text{св}} = 4000$  т/ч.

На вставке рис. 2а показан прирост мощности турбины  $\Delta N_{\text{T}} > 0$  при работе с одним нижним сетевым подогревателем в диапазоне изменения температуры наружного воздуха  $2,0 \leq t_{\text{нв}} \leq 10^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 3 показан прирост мощности турбины в зависимости от расхода сетевой воды  $G_{\text{св}}$  при постоянных значениях температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$ , равных 2; 3; 3,5 и 10 °С.



**Рисунок 3. Прирост мощности турбины в зависимости от расхода сетевой воды на режимах работы с одним сетевым подогревателем нижней ступени согласно предложенному способу**

Как видно из рисунка, прирост мощности турбины достигает максимального значения  $\Delta N_{\text{T}} = 2,13$  МВт при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нв}} = 3,5^{\circ}\text{C}$ . При  $t_{\text{нв}} = 2,0^{\circ}\text{C}$  прироста не происходит, т. е.  $\Delta N_{\text{T}} = 0$ . Область положительного эффекта при работе турбоустановки с одноступенчатым подогревом сетевой воды лежит в диапазоне изменения расхода сетевой воды  $2000 \leq G_{\text{св}} \leq 4000$  т/ч. При  $G_{\text{св}} < 2000$  т/ч целесообразна работа теплофикационной паровой турбины Т-100/120-



130 с двухступенчатым подогревом сетевой воды при равном распределении нагрузки между подогревателями.

Проведенные исследования показали, что работа теплофикационной турбоустановки Т-100/120-130 с использованием нижнего и верхнего подогревателей сетевой воды в периоды изменения температуры наружного воздуха  $2,0 \leq t_{\text{нв}} \leq 10$  °С и выше приводит к перерасходу пара на сетевые подогреватели через нерациональное использование его потенциала в турбине. При этом отключение верхнего подогревателя и нагрев сетевой воды только в нижнем подогревателе в обозначенных интервалах температурного графика позволяет получить дополнительную электрическую мощность турбоустановки на теплофикационном режиме.

### Список литературы:

1. Бененсон Е.И. Теплофикационные паровые турбины / Е.И. Бененсон, Л.С. Иоффе. М.: Энергоатомиздат, 1986. — 271 с.
2. Елизаров Д.П. О распределении подогрева сетевой воды между нижним и верхним подогревателями теплофикационных турбоустановок / Д.П. Елизаров, Э.И. Тажиев // Электрические станции. — 1994. — № 2. — С. 17—20.
3. Инструкция по эксплуатации паровой турбины Т-100/120-130. Х.: Харьковская ТЭЦ-5, 1989. — 121 с.
4. Инструкция по эксплуатации теплофикационной установки Харьковской ТЭЦ-5. Х.: Харьковская ТЭЦ-5, 2006. — 31 с.
5. Лыхвар Н.В. Структуры данных и язык системы машинного проектирования и исследований тепловых схем паротурбинных установок / Н.В. Лыхвар // Математическое обеспечение систем автоматизированного проектирования объектов машиностроения. Х.: ИПМаш НАН Украины, 1981. — С. 45—52. — (Препринт / АН УССР. Институт проблем машиностроения; 163).
6. Трухний А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 540 с.

Научное издание

## «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»

Сборник статей по материалам  
XXVII международной научно-практической конференции

№ 10 (23)

Октябрь 2013 г.

Часть I

Подписано в печать 06.11.13. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 9,125. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
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