

Международная научная конференция

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ТРАДИЦИИ И ИННОВАЦИИ (II)



Челябинск

УДК 62(01)  
ББК 30  
Т38

Редакционная коллегия сборника:

*М. Н. Ахметова, Ю. В. Иванова, К. С. Лактионов, М. Г. Комогорцев, В. В. Ахметова,  
В. С. Брезгин, А. В. Котляров, А. С. Яхина, М. О. Насимов, Е. В. Лескова*

Ответственный редактор: *Г. А. Кайнова*

Международный редакционный совет:

*Айрян З. Г. (Армения), Арошидзе П. Л. (Грузия), Атаев З. В. (Россия),  
Велковска Г. Ц. (Болгария), Гайич Т. (Сербия), Данатаров А. (Туркменистан),  
Ешиев А. М. (Кыргызстан), Игисинов Н. С. (Казахстан), Лю Цзюань (Китай),  
Нагервадзе М. А. (Грузия), Прокопьев Н. Я. (Россия), Прокофьева М. А. (Казахстан),  
Ребезов М. Б. (Россия), Хоналиев Н. Х. (Таджикистан), Хоссейни А. (Иран)*

Т38 **Технические науки: традиции и инновации (II): материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2013 г.).** — Челябинск: Два комсомольца, 2013. — iv, 92 с.

ISBN 978-5-903618-75-0

В сборнике представлены материалы международной научной конференции «Технические науки: традиции и инновации (II)».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)  
ББК 30

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

**Матвеев И.А., Юдин И.А.**

Получение оверлеев векторных данных большого объёма. . . . .1

**Мищенко Д.Д.**

Построение системы моделирования прецизионных систем . . . . .6

**Нуржабова Д.Ш.**

Проектирования информационной безопасности телемедицинских сетей. . . . .9

**Попов Н.Н., Мороз И.И.**

Численный анализ квазилинейных уравнений в модели излучения. . . . .12

**Серова Е.А.**

Концептуальная модель для систем обработки событий . . . . .15

**Юсупов Ф.А.**

Разработка мультимедийного информационно-экспозиционного комплекса музеев Хивы . . . . . 19

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Занина К.А., Цуркин А.П.**

Влияние нанотехнологий и наноматериалов на человека и остальной живой мир. . . . .21

**Комраков Д.В.**

Определение координат местоположения объекта в сетях GSM и UMTS. . . . . 24

**Нонг Куок Куанг**

Согласование на тракте измерительной установки с открытым резонатором в диапазоне 78–118 ГГц. . . . . 30

**Сурков В.О.**

Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения . . . 34

**Шибeko P.B., Терещенко A.B.**

Физиотерапевтический прибор . . . . .37

## 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Зинкин С.А., Белецкий П.А.**

Оптимизация размещения абонентов по сети передачи данных. . . . .42

## 5. ЭНЕРГЕТИКА

**Володин Г.Т., Новиков А.С.**

Разрушение бетонных оболочек взрывом. . . . . 44

## 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

**Фалин В.В.**

О возможности получения металлического кальция различными восстановителями. . . . . 48



## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Биксаев А.Ш., Сенишкин Н.С., Калимуллин Р.Р., Белобровина М.В.**

Методы защиты авиационных ГТД от вредных воздействий окружающей среды в эксплуатации. . . . . 54

**Давлетьяров Р.З.**

Возможность и перспективы использования нанотехнологии в авиационной отрасли . . . . . 57

## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

**Кудрявцев Е.М., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А.**

Обоснование применения системы автоматически регулируемого освещения на базе светодиодов при производстве землеройно-транспортных работ . . . . . 62

**Улько Н.И., Арбузов Ю.А., Воеводин И.Г.**

Управление ресурсами для обеспечения экологической безопасности капитального ремонта трубопроводов. . . . . 67

## 9. ТРАНСПОРТ

**Ахмедов Р.Р.**

Строительство хаб-портов как вариант решения проблемы оптимизации транспортной сети России . . . . . 70

**Носырев Д.Я., Свечников А.А.**

Разработка методов и средств повышения эффективности элементов газовоздушного тракта тепловозных дизелей. . . . . 71

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

**Айсарина А.А., Перевозчикова Е.Г.**

Система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в курсе технических дисциплин. . . . . 75

**Антонова Е.Н.**

Бурение боковых стволов на примере Уренгойского газоконденсатного месторождения . . . . . 79

**Китаева С.А.**

Направления совершенствования современных насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей. . . . . 83

**Хатмуллина Д.Д.**

Значение и получение терефталевой кислоты . . . . . 86

**Хатмуллина Д.Д.**

Технологии будущего: от науки к инновациям . . . . . 88

# 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

## Получение оверлеев векторных данных большого объёма

Матвеев Иван Алексеевич, кандидат физико-математических наук, зав. сектором  
Вычислительный центр имени А. А. Дородницына РАН (г. Москва);

Юдин Илья Антонович, научный сотрудник  
НИИ Аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС» (г. Москва)

*Рассмотрена задача построения оверлеев (пересечения, объединения, разности) векторных данных, содержащих большое число контуров простой структуры. С целью решения этой задачи изучены представленные в литературе методы. Как оказалось, лишь три метода из множества имеющихся могут претендовать на решение этой задачи за разумное время. При более детальном изучении и тестировании имеющихся реализаций этих методов лишь одна из них (Vatti/GPC) оказалась пригодной, причём только после внесения существенных доработок. Итоговая улучшенная реализация алгоритма апробирована на массиве данных по пожарам и пригодна для решения практически важных задач.*

*Ключевые слова:* оверлеи многоугольников, скан-линейный алгоритм, шейпфайл.

### Введение

В различных приложениях, связанных с обработкой данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), появляется задача вычисления объединения, пересечения, разности множеств, представляющих собой площади земной поверхности, заданные в векторном виде, а именно как набор замкнутых многоугольников, описанных последовательностями вершин [1]. Типичными задачами являются: объединение площадей, полученных при обработке данных последовательных пролётов спутников над заданным участком; получение пересечения такой объединённой площади (имеющей обычно весьма сложную форму) с границами административных образований или областями определённого типа растительности; вычисление разности двух областей с целью определения добавленных участков.

### Постановка задачи

Области (называемые также *операндами*) состоят каждая из многих (до десятков тысяч) контуров:

$$A = \bigcup_{i=1}^N A_i, B = \bigcup_{j=1}^M B_j, N, M \in [1; 10000).$$

Каждый контур является многоугольником (полигоном) и представлен последовательностью своих вершин, число вершин обычно невелико (порядка десяти), но может достигать нескольких тысяч:

$$A_i = \{a_k\}_{k=1}^{N_i} = \{(x_k, y_k)^T\}_{k=1}^{N_i}, N_i \in [3; 1000).$$

Контуров невырожденные, не имеют самопересечений, однако контуры одного аргумента могут взаимно пересекаться. Общее число точек во всех контурах может достигать сотен тысяч:

$$\sum_{i=1}^N N_i \in [3; 100000).$$

Требуется построить алгоритмы, вычисляющие объединение  $A \cup B$ , пересечение  $A \cap B$ , разность  $A \setminus B$  таких множеств.

Подобные задачи решались многими исследователями при помощи различных методов. В [4] проводится обзор алгоритмов, предложенных Sutherland, O'Rourke, Weiler, Леонов, Schutte, Holwerda, Margalit и сравнение их по ряду таких параметров, как вычислительная устойчивость, ресурсоёмкость, скорость работы, простота программной реализации. Кроме этого, авторами рассматривались также алгоритмы Liang-Barsky, Maillot, Vatti, Greiner-Hogman, рекомендованные в [5]. Однако, несмотря на кажущееся обилие методов, большая часть из них оказалась непригодной из-за большой размерности задачи. Многие из перечисленных методов рассчитаны на работу с очень сложными, но малочисленными контурами, в то время как здесь имеется прямо противоположная ситуация: большое число относительно простых контуров.

Алгоритмы Сазерленда, О'Рурка, Шутте, Лианга-Барского и Maillot признаны непригодными, так как требуют отсутствия «дыр» и/или выпуклости хотя бы одного из операндов. Алгоритм Вейлера-Азертон пригоден для операции лишь с двумя (пусть и очень сложными) контурами, а алгоритм Маргалита-Кнотта пригоден лишь в случае когда один из операндов представлен единственным многоугольником. Поскольку число многоугольников может составлять десятки тысяч (хоть и очень простых), для операций в нашем случае потребуются десятки тысяч вызовов этих алгоритмов с последующим объединением результатов; причём оптимальное объединение результатов само по себе является непростой задачей. Алгоритм Холверда является предшественником более быстрого и стабильного алгоритма Ватти, а алгоритм Леонова — модификацией алгоритма Грейнера-Хормана. Таким образом, более подробному разбору, в том числе экспериментальной проверке, подверглись три алгоритма: триангуляции [3], Леонова [2] и Ватти [9].

### Анализ трёх алгоритмов

*Триангуляцией* многоугольника называется его представление в виде полного набора взаимно не пересекающихся треугольников. Основная идея алгоритма построения оверлеев (т. е. пересечения, объединения или разности) многоугольников с помощью триангуляции заключается в построении совместной триангуляции исходных многоугольников (при которой структурными линиями служат стороны обоих аргументов), а затем выбора из множества полученных треугольников некоторых, согласно выполняемой операции и принадлежности каждого из треугольников исходным множествам-аргументам. Избранные треугольники можно наконец объединить в многоугольники, хотя для рассматриваемой задачи это не обязательно.

*Алгоритм Леонова* (Грейнера-Хормана) состоит в поиске и маркировке всех пар пересекающихся рёбер, после чего проводится трассировка, начинающаяся с любой вершины одного из контуров, выделяющая все минимальные ограничивающие контуры областей, полученных наложением аргументов. Каждый из контуров маркируется согласно выполняемой операции и принадлежности аргументам, после чего проводится сборка этих контуров в результирующее множество.

*Алгоритм Ватти* также называется скан-линейным. Его основная идея состоит в том, что все вершины аргументов упорядочиваются по значению их ординат, и каждая из них порождает горизонтальную скан-линию. Далее при последовательном просмотре скан-линий производится анализ их пересечений с точками и рёбрами аргументов, поддерживается список контуров, в который вносятся изменения, соответствующие характеру и последовательности пересечения очередной скан-линии с вершинами и сторонами.

Поскольку все эти алгоритмы достаточно сложны, в качестве основы были взяты программные реализации, разработанные ранее. Для построения триангуляции и для выполнения операций над треугольниками были использованы алгоритмы из библиотеки Computational Geometry Algorithms Library [6]. Алгоритм Леонова был взят из [7]. За основу реализации алгоритма Ватти был взят код [8].

Для первого этапа тестов были использованы данные о пожарах, полученные в 2011 году. Было использовано 3906 векторных файлов, каждый из которых содержит от одного до нескольких тысяч полигонов простой формы (обычно это четырёхугольники), являющихся фактически векторным представлением пикселей растрового изображения, на которых детектирован пожар. Файлы были разбиты на группы по месяцам. Для тестов алгоритмов на первом этапе была использована *подгруппа* файлов, имеющих общий размер 100 килобайт. Также была сформирована группа, включающая в себя все файлы всех месяцев. В Таблице 1 приводятся характеристики этих групп.

Тесты всех трёх алгоритмов проводились только для «Подгруппы», результаты представлены в Таблице 2.

Имеющаяся реализация алгоритма Леонова не прошла по временным ограничениям, кроме того, в этой реализации при вычислениях производится перевод координат из чисел с плавающей точкой в целочисленные 64-битные значения и обратно. По этой причине координаты точек не сохраняются строго, что может вызвать проблемы при дальнейшей обработке. По этим причинам было принято решение отказаться от алгоритма Леонова.

Что касается триангуляционного алгоритма, то при переходе к расчётам на реальных данных (после вполне благополучных тестов на «Подгруппе») обнаружился его существенный недостаток. На реальных данных один и тот же пожар может быть детектирован десятки раз. Соответственно, десятки файлов содержат контур пожара в одном и том же месте. На Рис. 1. приводится пример объединения двух прямоугольных контуров (каждый из которых может быть представлен как два треугольника), в результате которого при использовании метода триангуляции получается 10 треугольников, и объединение трёх контуров, в результате которого получается уже 31 треугольник.

В общем случае при объединении наложенных контуров количество треугольников растёт квадратично от числа объединений. Таким образом, на реальных данных, содержащих области с многократным перекрытием число треугольников резко возрастает, а сами они уменьшаются до ничтожных площадей. Обратное объединение треугольников в некоторую фигуру само по себе является трудной задачей, требующей существенной доработки алгоритма триангуляции. По этой причине было принято решение отказаться от метода триангуляции.

### Доработки алгоритма Ватти

За основу реализации алгоритма Ватти была взята библиотека оверлеев [GPC]. Оригинальный код этой библиотеки оказался непригоден для решения в полном объёме

Таблица 1

## Характеристики тестовых групп шейпфайлов

Месяц	Число файлов	Общий размер файлов, МБ	Общее число контуров	Общее число вершин
Апрель	470	3,1	20634	102389
Май	1231	11,2	69560	405416
Июнь	1322	11,6	62292	472804
Июль	397	2,2	16193	64772
Сентябрь	268	1,8	13298	53192
Октябрь	218	1,5	8938	35752
Подгруппа	8	0,1	608	3899
Все месяцы	3906	31,1	190915	1134325

Таблица 2

## Результаты обработки тестовой подгруппы файлов тремя wybranными алгоритмами

Алгоритм	Время исполнения, с	Число контуров	Число вершин
Триангул.	0,038	1314	3942
Леонова	0,11	596	3880
Ватти	0,017	598	3883

задач, поставленных в проекте, и был переработан. были сделаны следующие существенные доработки: исключена рекурсия при перемещении по спискам (деревьям) вершин, активных рёбер, фигур; исключено задание в явном виде таблицы попарных пересечений многогранников; учтена возможность пересечения фигур, находящихся в одном файле. Опишем каждую из этих доработок более подробно.

**Рекурсия при перемещении по спискам**

Алгоритм Ватти оперирует с несколькими списками объектов, это список вершин (составляемый из вершин исходных фигур, пополняется в процессе работы пересечениями рёбер), список активных рёбер, списки активных фигур и построенных фигур. В версии GPC эти списки реализованы как бинарные деревья, для оптимизации поиска. Однако, перемещение по спискам в исходном коде

было реализовано в виде рекурсивного вызова функций обработки элемента. При работе с большими объёмами данных степени самых удалённых от корня вершин деревьев возрастают до нескольких десятков тысяч. При использовании рекурсивных вызовов для перемещения по дереву это означает вызов функции самой из себя несколько десятков тысяч раз. По этой причине при обработке больших групп файлов (например «Май» и «Июнь») происходило исчерпание стека вызовов и аварийное завершение алгоритма и самой программы.

Были сделаны доработки с целью исключить рекурсию. В переработанной версии алгоритма глубина вызовов функций не превышает 5, рекурсия исключена.

**Таблица попарных пересечений**

В исходной версии алгоритма для минимизации вычислений алгоритма применён простой метод уменьшения

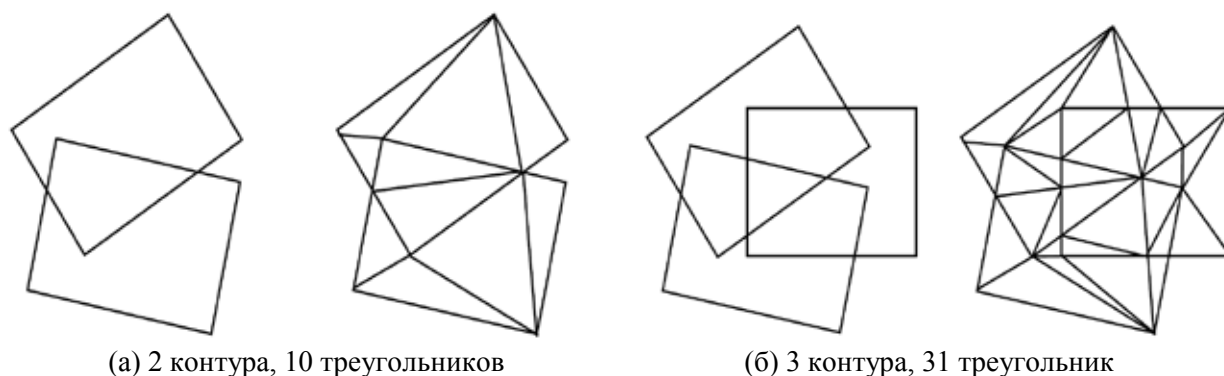


Рис. 1. Пример нарастания сложности триангуляции

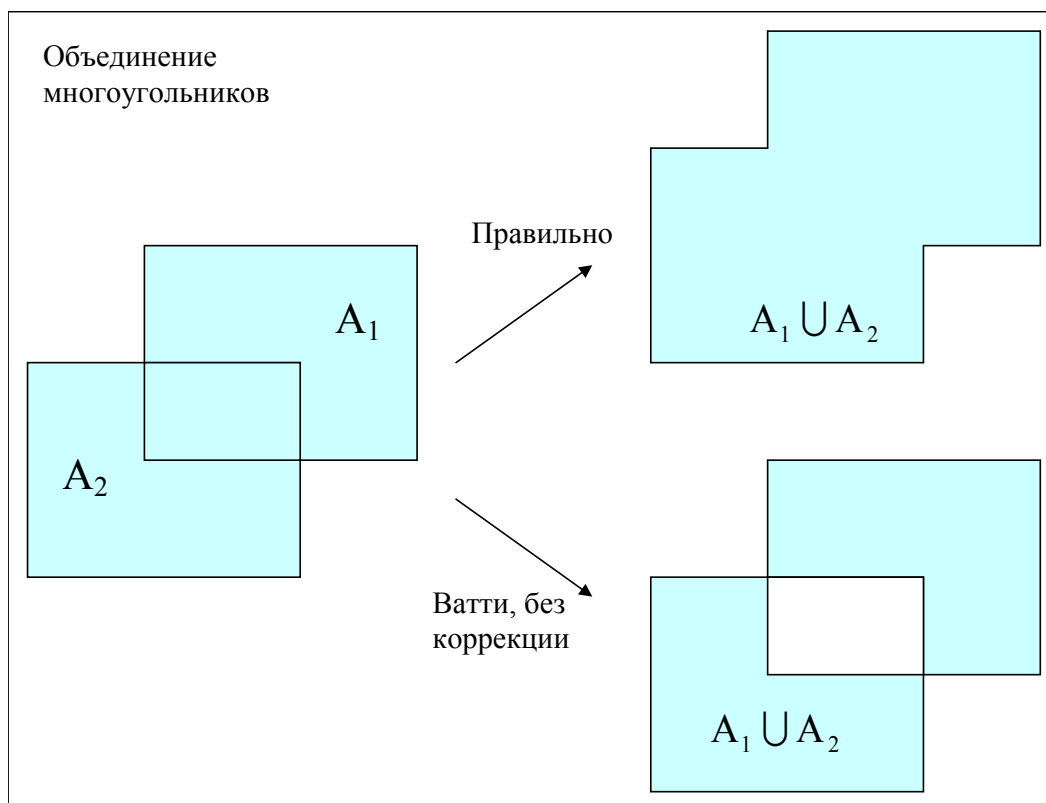


Рис. 2. Пример работы алгоритма Ватти при условии наличия пересекающихся фигур в одном операнде

количества контуров, для которых используется скан-линейный метод. Идея заключается в том, что каждый из аргументов  $A$  и  $B$  представлен множеством отдельных контуров, но при этом далеко не каждый контур  $A$  пересекает хотя бы один контур  $B$  и наоборот. Таким образом каждый операнд можно разбить на два подмножества, *активное* и *пассивное*:

$$A = A_{active} + A_{passive}, \quad B = B_{active} + B_{passive}.$$

Пассивные части операндов исключаются из выполнения скан-линейной процедуры и могут быть добавлены уже потом к результату:

$$A \cap B = A_{active} \cap B_{active}$$

$$A \setminus B = (A_{active} \setminus B_{active}) + A_{passive}$$

$$A \cup B = (A_{active} \cup B_{active}) + A_{passive} + B_{passive}$$

Однако, реализация этого подхода выполнена, очевидно, с расчётом на небольшое количество контуров. В частности, для получения списков пассивных и активных контуров используется массив чисел, имеющий размер, равный произведению числа контуров двух операндов. Для решаемых в рамках проекта задач оба эти числа могут превышать 100000, что приводит к невозможности размещения в оперативной памяти такого массива.

Была произведена доработка алгоритма, в результате которой необходимый размер массива стал равен не произведению, а сумме числа контуров в операндах.

### Пересечение фигур в одном шейпфайле

Проверка условий включения каждого полученного многогранника в результат осуществляется подсчётом числа пересечений скан-линии с рёбрами многоугольников  $A$  и  $B$ . С этим связана особенность алгоритма, которая потребовала дополнительных усилий для его использования, а именно, при наличии пересекающихся фигур в каком-либо операнде (например  $A$ , т. е.  $A_i \cap A_j \neq \emptyset$ ) алгоритм исключает их пересечение из результата. Пример на рисунке ниже.

Была сделана надстройка над алгоритмом. Каждый из операндов (пусть это будет  $A$ ) предварительно разбивался на группы контуров (далее такая группа называется *слоем*), такие, что внутри каждой такой группы контуры не пересекались:

$$A = \sum_{g=1}^G A^{(g)}, \quad A^{(g)} = \sum_{s=1}^{S_g} A_s^{(g)},$$

$$\forall g : A_s^{(g)} \cap A_t^{(g)} = \emptyset \Leftrightarrow s \neq t.$$

Далее слои  $A^{(g)}, g = G \dots 1$  последовательно объединяются.

Для разбиения на слои разработан специальный алгоритм, использующий проецирование фигур (точнее, их ограничивающих прямоугольников) на вспомогательный растр. Работа алгоритма представлена блок-схемой на Рис. 3. В результате исполнения алгоритма получается несколько слоёв, в каждом из которых содержатся вза-



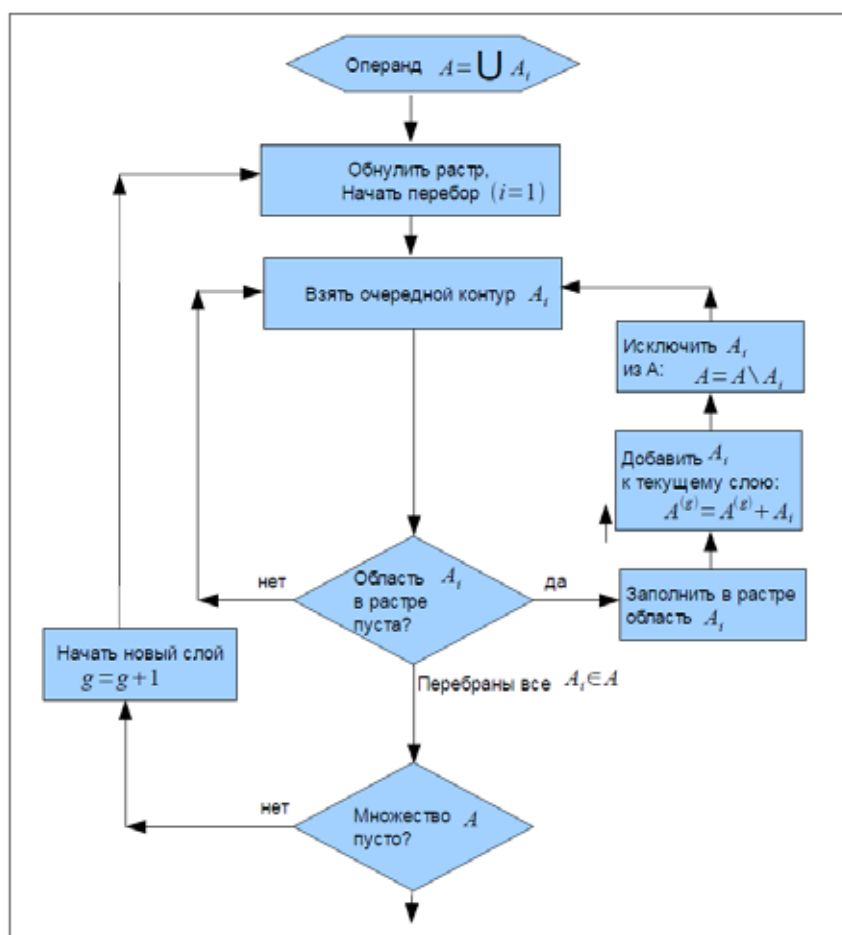


Рис. 3. Алгоритм разбиения на слои

имно непересекающиеся контуры. Как правило, слои с большим порядковым номером содержат меньшее количество контуров. Поэтому слои объединяются начиная с меньших номеров, с целью уменьшения количества вычислений алгоритмом Ватти.

### Результаты тестов

Результаты тестов алгоритма на множествах Таблицы 1 приведены в Таблице 3. Проводилась операция объединения всех контуров всех файлов в группе в один набор контуров.

### Заключение

В целях автоматизации построения оверлеев при обработке данных дистанционного зондирования Земли были изучены имеющиеся методы и их программные реализации. Лишь один из имеющихся методов оказался по сути пригоден для решения поставленных задач, причём только после значительных доработок. Сделано несколько доработок программной реализации алгоритма, позволивших существенно расширить область его применимости и размерность обрабатываемых им данных. Сделана надстройка над алгоритмом, позволяющая обойти

Таблица 3

Результаты тестов алгоритма Ватти

Группа	Время исполнен., с	Число слоёв	Число контуров результата	Число вершин результата
Апрель	6	43	12495	91783
Май	87	134	23103	256568
Июнь	143	168	31353	321899
Июль	7	92	6462	45523
Сентябрь	4	66	6754	41970
Октябрь	4	38	5394	30344
Все месяцы	751	419	78234	730128

один из его принципиальных недостатков, некорректную обработку аргументов со взаимно пересекающимися контурами. Полученный в итоге алгоритм пригоден для решения практических задач и используется в этом качестве.

В процессе работы выяснились следующие недостатки.

Имеющаяся реализация алгоритма Ватти обладает алгоритмической сложностью  $O(n\sqrt{n})$ , где  $n$  — сумма числа точек аргументов. Алгоритм Ватти может быть доработан для оптимизации поиска пересечений рёбер таким образом, что его сложность станет  $O(n\log n)$ .

#### Литература:

1. Бондур В. Г. Актуальность и необходимость космического мониторинга природных пожаров // Вестник ОНЗ РАН. 2010. Том 2. NZ11001.
2. Леонов М. В., Никитин А. Г. Эффективный алгоритм, реализующий замкнутый набор булевых операций над множествами многоугольников на плоскости / Препринт Института систем информатики СО РАН № 46. 1997. 20 с. // <http://www.iis.nsk.su/files/preprints/046.pdf>
3. Сковцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. - 128 с.
4. Ченцов О. В., Сковцов А. В. Обзор алгоритмов построения оверлеев многоугольников // [www.ict.edu.ru/ft/004461/46.pdf](http://www.ict.edu.ru/ft/004461/46.pdf)
5. Agoston M. K. Computer Graphics and Geometric Modeling // Springer. 2004. 920 p.
6. Computational Geometry Algorithms Library // <http://www.cgal.org/>
7. Leonov M. PolyBoolean // <http://www.complex-a5.ru/polyboolean/comp.html>
8. Murta A. General Polygon Clipper Library // <http://www.cs.man.ac.uk/~toby/gpc/>
9. Vatti B. R. A generic solution to polygon clipping // Communications of the ACM. 1992. V.35. N.7. P.56—63.

## Построение системы моделирования прецизионных систем

Мищенко Дарья Дмитриевна, аспирант

Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

*Представлены принципы построения системы моделирования прецизионных электроприводов как адаптивной системы.*

**Ключевые слова:** прецизионные системы, системы моделирования динамических объектов.

Прецизионные системы, в частности прецизионные электроприводы являются специфическим объектом моделирования. Характерным для них является наличие элементов различной физической природы (электрической, механической и электромеханической), малая погрешность отдельных элементов (например, датчики углового положения могут иметь разрядность  $2^{15}$ , что соответствует погрешность 0,67 угл. мин.), постоянные времени различных элементов могут существенно различаться, могут присутствовать импульсные элементы с малой длиной импульса, а также элементы с временными задержками [1, с. 12]. Всё это существенно усложняет моделирование прецизионных систем, так как существующие методы численного интегрирования в сочетании с моделями элементов обеспечивают погрешность порядка 10...20 %, что вполне приемлемо для общей оценки работоспособности прецизионных электроприводов, но не позволяет исследовать его работу на уровне погрешностей элементов. Можно ввести понятие **масштаба моделирования**, который характеризует степень детализации процессов в модели и возможность

воспроизведения их на фоне самых крупных в данном объекте процессов.

Можно выделить следующие типовые режимы работы прецизионных систем, которые требуют специальных условий моделирования.

**Режим пуска (включения).** При этом электрические начальные условия, как правило, нулевые. Цель моделирования — определение работоспособности прецизионной системы или его пусковых характеристик. Требования по точности моделирования невысокие. Изменения всех электрических переменных значительные. Изменения механических переменных может быть как значительным (пуск на заданную скорость), так и незначительным (пуск в режиме стояния).

**Режим изменения скорости или угла поворота.** При этом электрические начальные условия ненулевые. Механические начальные условия (угол поворота, скорость) могут быть как нулевыми, так и ненулевыми. Цели моделирования могут быть различными: исследование изменений токов в обмотках двигателя; исследование отклонений угла поворота или скорости, исследование

отдельных сигналов в соответствующих элементах системы управления и др. В этом случае возможны как невысокие, так и высокие требования к воспроизведению деталей процессов, т. е. требуется различный масштаб моделирования.

**Режим работы установившийся.** При этом целью исследований могут быть: повторяющиеся процессы в инверторе (переключения транзисторов и соответствующие сигналы в системе управления), активные потери мощности, форма токов в обмотках, колебания скорости, момента, угла поворота (при удержании двигателя в заданном положении) и т. п. Очевидно, что в некоторых случаях требуются сравнительно обобщённые модели процессов (например, для анализа потерь), а в других — наиболее детализированные (при исследовании сигналов в системе управления). Именно в этом режиме обеспечивается заданная точность прецизионной системы.

**Режим работы аварийный.** В данном случае, как правило, исследуют переходные процессы обобщённо, т. е. допустима невысокая точность расчётов. Но иногда требуется проанализировать работу системы управления в аварийном режиме и тогда необходимо добиваться повышенной точности расчётов и учёта многочисленных деталей.

Для исследования аварийных режимов, связанных, на примере индукторного двигателя двойного питания, с отключением фаз обмоток, необходимо разработать соответствующие математические модели. Произвольное подключение и отключение фаз приводит к преобразованию структуры схемы замещения с изменением замкнутых контуров протекания токов, числа переменных состояния и выходных переменных. Т. е. индукторный двигатель двойного питания в этих режимах описывается моделью с переменной структурой в виде набора взаимосвязанных

структур. Эти структуры последовательно сменяют друг друга при отключении или подключении фаз. При этом должно выполняться условие их взаимосвязи через переменные состояния. Так как модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, то при их интегрировании для переменных состояния на каждом этапе интегрирования задаются начальные условия.

Методика получения универсальной математической модели двигателя для режимов работы с различным числом подключённых фаз заключается в следующем. Разрабатываются базовая и частные математические модели, которые работают во взаимосвязи (Рис. 1).

Частные математические модели полностью отражают специфику подключения фаз и наличие тех или иных контуров. В них рассчитываются для всех фаз (подключённых и отключённых) активные проводимости, токи и их производные, потокосцепления и их производные, а также потенциалы на клеммах отключённых фаз. Эти результаты передаются в базовую модель. Базовая математическая модель сама по себе не отражает специфики подключения фаз в данный момент. Она записана в самом общем виде и с её помощью рассчитываются производные вектора переменных состояния (потокосцеплений) для всех фаз (в том числе отключённых) [2, с. 59]. Задача базовой модели — устанавливать связь между частными моделями, которые отличаются составом переменных состояния. Программа численного интегрирования работает с обобщённым вектором переменных состояния из базовой модели и «не замечает» различий в модели двигателя при смене её структуры, так число переменных состояния не изменяется.

Из анализа режимов можно сделать вывод, что в разных режимах для одних и тех же блоков требуются разные точности моделирования.

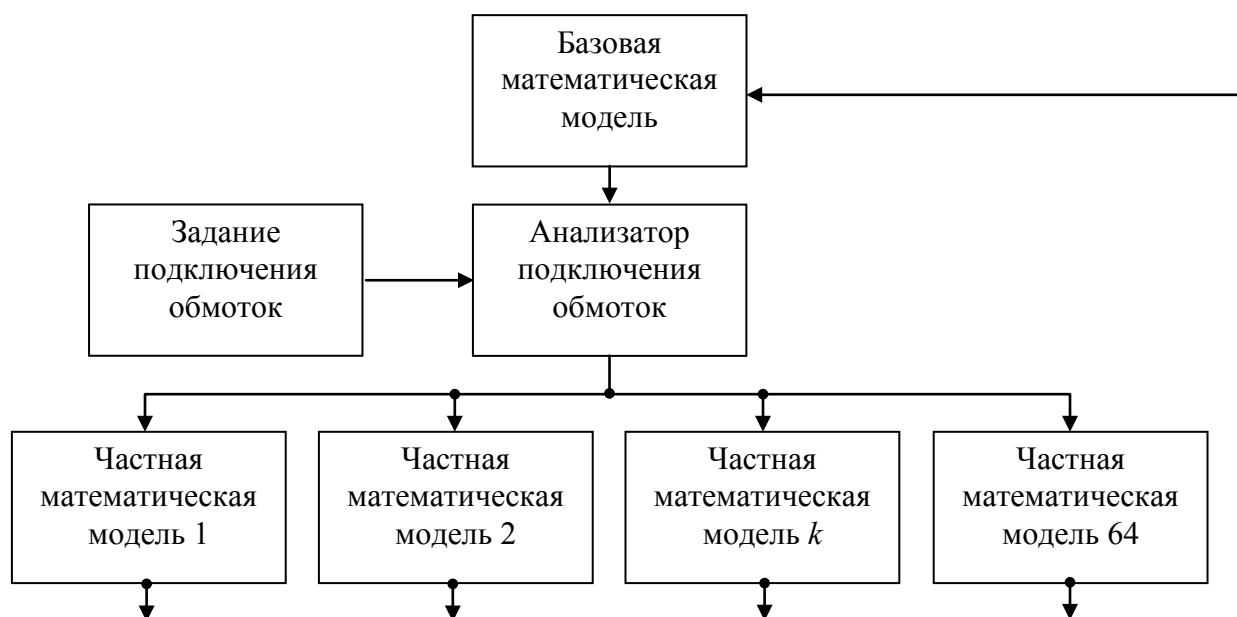


Рис. 1. Структурная схема модели индукторного двигателя с переменной структурой

Отдельная проблема возникает при моделировании смены режимов и необходимости просмотра различных процессов, в зависимости от режима и, возможно, даже в рамках одного режима. Например, желательно посмотреть форму тока в обмотках и тут же — сигналы в системе управления [3, с 49]. Одновременно просматривать эти переменные невозможно, так как слишком разный масштаб времени (частоты порядка десятков герц для токов и порядка мегагерц для импульсов в системе управления). Кроме того, параметры сигналов в системе управления могут слабо влиять на форму тока и поэтому, вообще говоря, их можно моделировать раздельно. То же самое происходит при использовании импульсной (цифровой) системе управления, когда один импульс, пришедший в определённый момент времени, меняет процессы в некотором направлении и далее они протекают уже без учёта детальных параметров импульсов в системе управления. Но сам момент прихода такого импульса должен быть зафиксирован точно.

Таким образом, в целом выявляется необходимость построения системы моделирования, способной оперативно менять программные модели отдельных элементов в процессе моделирования.

Кроме моделей, в системе моделирования используются также конкретные численные методы, которые приспособлены к моделям с определёнными характеристиками [4, с 27]. Поэтому изменение модели логично сопроводить изменением используемого метода. В настоящее время большинство моделирующих программ позволяет выбрать методы из достаточного числа возможных вариантов, но только перед началом счёта.

При смене моделей может оказаться необходимым перестроить модель всей системы, так как, например, вместо некоторых динамических моделей (в форме дифференциальных уравнений) могут появиться статические (в форме алгебраических или даже логических выражений). Могут трансформироваться и некоторые модели, записанные в алгоритмической форме. Это потребует увязки нового состава переменных состояния с прежним (входные и выходные переменные часто остаются прежними). Таким образом, адаптивность к выбору моделей элементов предполагает также определённую степень адаптивности к смене модели всей системы.

Процесс смены моделей элементов, методов и модели всей системы не может происходить без соответствующего научного обоснования. Необходимо обеспечить при такой смене преемственность, когда конечные значения переменных прежних моделей становятся начальными для новых моделей. Необходимо обеспечить корректную передачу информации в части внутренних переменных моделей (некоторые из них могут исчезать при упрощении модели и появляться при её усложнении). Необходимо гарантировать сходимость процесса при смене моделей.

В целом ставится задача автоматизировать выбор всех составляющих процесса моделирования с учётом заданного режима и исследуемых переменных. При этом возможны рациональные и оптимальные алгоритмы. Рациональные алгоритмы обеспечивают работоспособность модельного процесса, а оптимальные — его эффективность. В качестве критериев эффективности можно использовать, например, время счёта или общую погрешность.

#### *Литература:*

1. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Исполнительные устройства с многофазными электродвигателями переменного тока // Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы. М.: Машиностроение, 1976.
2. Бронов С. А., Овсянников В. И., Соустин Б. П. Регулируемые электроприводы переменного тока. Красноярск: КГТУ, 1998.
3. Бронов С. А. Способы управления двигателем двойного питания // Информатика и системы управления. Вып. 5. Красноярск: НИИ ИПУ, 2000.
4. Бронов С. А. Электропривод для приборов с индукторным двигателем двойного питания в квазишаговом режиме // Изв. вузов. Приборостроение. 2004, № 4.



## Проектирования информационной безопасности телемедицинских сетей

Нуржабова Дилафруз Шукруллаевна, ассистент

Ташкентский университет информационных технологий, Каршинский филиал (Узбекистан)

*Данная статья посвящена об обеспечению информационной безопасности и рассматриваются нейронные сети и структура их в информационной безопасности. При помощи нечеткой логики объяснена разработка нейроэкспертных систем.*

**Ключевые слова:** Нейрон и нейронные сети, информационной безопасность, нейромедиаторы, синаптические связи.

Обеспечение информационной безопасности является важной задачей для любой страны, поскольку от сохранения конфиденциальности, целостности и доступности информационных ресурсов во многом зависят качество и оперативность принятия технических решений, эффективность их реализации. Государство, регламентируя отношения в информационной сфере не способно справиться в полном объеме с задачей обеспечения безопасности всех субъектов информационных отношений, однозначно отвечая лишь за защиту сведений, составляющих государственную тайну. Поэтому в условиях различных форм собственности задача обеспечения информационной безопасности полностью ложится на плечи предпринимателей, руководителей организаций, различных коммерческих структур [1]. По подсчетам американских специалистов, утрата 20 % информации ведет к разорению организации в течение месяца в 60 случаях из 100. Информация является основой для принятия решений человеком и от ее достоверности, полноты, системной организованности зависит риск принятия неэффективных и опасных решений. Непреднамеренное или преднамеренное искажение информации, несанкционированный доступ к защищаемой информации может представлять значительную угрозу [2]. Однако в настоящее время актуальными являются уже не столько вопросы защиты интеллектуальной собственности и информации, составляющей личную, коммерческую или служебную тайну, сколько такое конструирование структур и функций организаций, которое обеспечивало бы безопасность информационных технологий, сопровождающих, а часто и обеспечивающих нормальное функционирование производственных (интеллектуальных, инновационных, опережающих и т. п.) технологий [3]. Это связано с тем, что практически все системы жизнеобеспечения общества и государства базируются на использовании информационных систем (банковские расчеты, электронный документооборот, электронная коммерция и др.) вывод из строя любой существенного элемента этой системы может привести к невосполнимому ущербу и катастрофическим последствиям.

К настоящему времени в мире сложилась четкая система концептуальных взглядов на обеспечение информационной безопасности государства в целом и хозяйствующих субъектов в отдельности, однако специфические

особенности информационных систем в различных организациях не позволяют создавать единых универсальных методов обеспечения их информационной безопасности [4].

Решение задач обеспечения информационной безопасности организации может быть получено на базе использования экспертных систем поддержки принятия решений, применение которых эффективно по ряду причин: во-первых, появляется возможность решения плохо формализуемых задач с привлечением нового, специально разработанного для этих целей математического аппарата (семантических сетей, фреймов, нечеткой логики); во-вторых, экспертные системы ориентированы на эксплуатацию широким кругом специалистов, общение с которыми происходит с использованием понятной им техники рассуждений и терминологии; в-третьих, применение экспертных систем позволяет значительно повысить эффективность и оперативность решений за счет аккумуляции знаний экспертов высшей квалификации [4].

Мозг построен из клеток двух типов: глиальных и нейронов. И хотя роль глии в его работе, видимо, довольно значительна, большинство исследователей полагает, что в основном понимание работы мозга может быть достигнуто при изучении нейронов, объединенных в единую связанную сеть [4]. Эта парадигма и используется при построении, изучении и применении искусственных нейронных сетей. Следует, однако, заметить, что имеются и другие точки зрения. В частности, такие ученые как Пенроуз и Хамерофф считают, что главные события происходят не в нейронной сети, а в самих клетках, а именно в их цитоскелетоне, в так называемых микротрубочках. Согласно их точке зрения, и память, и даже сознание определяются конформационными изменениями белков во внутриклеточных структурах и связанными с ними квантовыми эффектами. Количество нейронов в мозге оценивается величиной  $10^{10}$ – $10^{11}$ . Типичные нейроны имеют тело клетки (сому), множество ветвящихся коротких отростков — дендритов и единственный длинный и тонкий отросток — аксон. На конце аксон также разветвляется и образует контакты с дендритами других нейронов — синапсы рис. 1.

Внутриклеточное пространство нейрона имеет отрицательный электрический потенциал по отношению к вне-

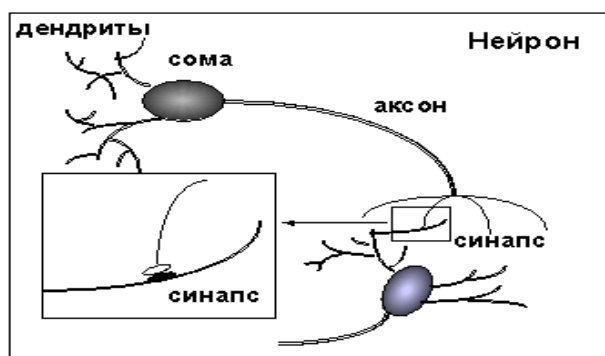


Рис. 1. Схема нейрона и межнейронного взаимодействия

клеточному ( $-70\text{ mV}$ ), то есть клетка в целом поляризована. Поляризация возникает за счет избирательной проницаемости клеточной мембраны для ионов натрия и калия, приводящей к разнице их концентраций внутри и вне клетки. Однако, если внешним образом достаточно сильно изменить потенциал мембраны одного нейрона (передатчика) вблизи выхода аксона из его клеточного тела, то проницаемость мембраны меняется и перераспределение ионов во внутриклеточном и внеклеточном пространстве аксона приводит к распространению по нему волны кратковременной деполяризации [4]. Электрический импульс, распространившись по всем ветвлениям окончания аксона со скоростью около  $100\text{ м/с}$ , достигает синапсов, расположенных в местах его контакта с дендритами или сомой других клеток. Под воздействием этого импульса в синапсах выделяются специальные химические вещества — нейромедиаторы, которые, пересекая синаптическую щель, взаимодействуют с мембраной нейрона-приемника и изменяют ее потенциал. Таким образом воздействие передается от одного нейрона к другому. Заметим, что это воздействие может являться как возбуждающим — способствующим дальнейшей генерации волны деполяризации в нейроне-приемнике, так и ингибирующим — препятствующим такой генерации. Тип воздействия определяется химической природой нейромедиатора, выделяющегося в синапсе [4]. После генерации импульса нейрон некоторое

время (период рефрактерности) не может активироваться. Поэтому частота, с которой нейрон может генерировать импульсы ограничивается примерно  $100\text{ Гц}$ . Каждый из нейронов устанавливает синаптические связи в среднем с  $10^4$  другими нейронами. Поэтому число связей в мозге оценивается в  $10^{14}—10^{15}$ . Очень грубо можно считать, что нейроны мозга могут находиться в двух состояниях — возбужденном (когда они передают свое воздействие другим нейронам) и покоящемся (когда такой передачи нет). До сих пор неизвестно, каким кодом пользуется нервная система для передачи взаимодействия. Может быть, он является бинарным, и значение имеют указанные состояния нейронов. Возможно, важна частота электрической активности нейронов, кодирующая интенсивность сигнала. Например, у нейронов коры эта частота может быть пропорциональна вероятности некоторого события. Наконец, информация может содержаться не в импульсных процессах, а в более медленных изменениях потенциала мембраны, которые не всегда активируют клетку (т. е. не превышают порога активации). Однако при любом предположении модель сети взаимодействующих нейронов оказывается исключительно богатой и обладающей свойствами, которые можно сопоставить с реальными возможностями мозга [1;4].

В строении мозга как на фотографии запечатлен весь эволюционный путь его развития. Так, мозг человека фак-

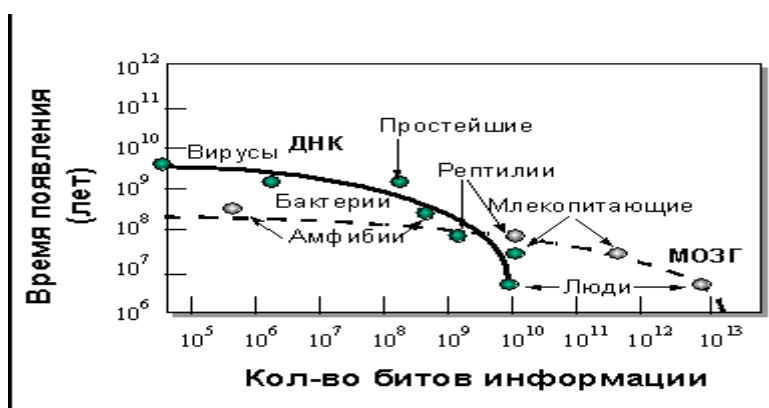


Рис. 2. Сравнение наследственной и приобретенной информации для различных видов организмов

тически включает в себя три больших отдела, управляющие наиболее древней структурой (нейрошасси), доставшейся нам еще от рыб и амфибий, и ответственной за поддержание жизнедеятельности и размножение. Первый отдел — рептильный комплекс — возник несколько сот миллионов лет назад и помогает нам ориентироваться в пространстве. Второй отдел — лимбическая система — образовался около ста пятидесяти миллионов лет назад. Благодаря ей мы обладаем эмоциями. Наконец, последнее достижение — новая кора, особо развитая у человека, позволяет нам говорить и логически мыслить. В фантастических романах прошлого человек будущего (или инопланетный гуманоид) иногда изображался как хилое существо с огромным мозгом. На самом деле, и при нынешних его размерах (примерно 5 % от общего веса тела) мозг человека потребляет около 20 % кислорода и, следовательно, энергии. При этом он обычно не задействован «на полную мощность»: одновременно активны в нем лишь 2–3 % нейронов [1;4]. Благодаря такой избыточности, мозг человека обладает огромным запасом прочности, позволяющим ему работать даже несмотря на серьезные повреждения и утраты. Этой способности лишены современные компьютеры. Экспертные системы и нейронные сети в той или иной мере успешно моделируют отдельные стороны интеллекта. В то время как экспертные системы используют правила импликации (IF-THEN), логический вывод, нейронные сети обладают способностью обучаться и выполнять параллельную обработку данных. Экспертные системы не обладают способностью к обучению, но проводимые ими рассуждения понятны и «прозрачны», в то время как нейронная сеть может обучаться, но действует как «черный ящик» [4]. Совокупность качеств делают нейронные сети и экспертные системы хорошими кандидатами на формирование гибридной интеллектуальной системы, называемой нейронной экспертной системой. Нейронные экспертные системы используют обученную нейронную сеть вместо базы знаний. В отличие от основанных на правилах экспертных систем, нейронные экспертные системы могут оперировать с недостоверными и неполными данными. Знания проблемной области, необходимые для проведения экономического анализа, могут быть использованы при начальной настройке информационного поля нейронной сети — нейронной базы знаний. После обучения, нейронная база знаний может интерпретироваться как доступный для анализа набор правил логического вывода IF-THEN [4]. Нейронная экспертная система может быть представлена в виде 5-слойной специализированной структуры, в которой достоверность сфор-

мулированной экспертами-экономистами системы правил логического вывода отражается в значениях весов связей между конъюнктивными (conjunction layer) и дизъюнктивными (disjunction layer) слоями нейронной сети [3]. В процессе обучения нейронной экспертной системы автоматически корректируется системы правил логического вывода, что улучшает достоверность экономического анализа.

Нейро-нечеткая сеть, соответствующая нечеткой модели вывода, например, модели Mamdani, может быть представлена нейронной сетью, состоящей из пяти слоев (рис. 1.6): входного, слоя введения нечеткости (fuzzification), слоя нечетких правил логического вывода, выходного слоя функций принадлежности и слоя формирования четких выходных значений (defuzzification). Знания экспертов-экономистов (априорный опыт системы) в форме лингвистических переменных и нечетких правил логического вывода могут быть взаимоднозначно отражены в структуре нейро-нечеткой сети.

При наличии примеров обучающей выборки (в виде набора разноплановых экономических показателей) нейро-нечеткая сеть в процессе обучения автоматически преобразует скрытую в экономических показателях информацию в набор нечетких правил IF-THEN, образующих проблемно ориентированную базу знаний, т. е. извлекает знания из входного потока реальных данных [1;4]. Нейро-нечеткая сеть может использовать стандартные алгоритмы обучения, разработанные для нейронных сетей, включая алгоритм обратного распространения ошибки [4]. Однако более оперативное обучение нейронных сетей может производиться с использованием эволюционных методов адаптации их информационного поля. Генетические алгоритмы эффективны для оптимизации весов и выбора оптимальной топологии нейронной сети в соответствии с заданной целевой функцией. Эволюционные методики оптимизации весов связей включают этапы выделения хромосом в структуре нейронной сети, задания функции соответствия — функционала, в соответствии с которым реализуется стратегия отбора отдельных хромосом для участия в процессе эволюции нейронных сетей и выбора генетических операторов для моделирования эволюционных процессов, как правило, пересечения и мутации [4].

Эволюционные вычисления могут использоваться для отбора нечетких правил при решении задачи классификации: числовые данные, находящиеся в таблицах нечетких правил, используются для формирования полной системы нечетких правил IF-THEN, генетический алгоритм — для выбора ограниченного числа правил с высокой мощностью классификации [4].

#### Литература:

1. Абу-Мостафа Я., Псалтис Д. Оптические нейронно-сетевые компьютеры. // В мире науки, 1987, № 5, с. 42–50.
2. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 1972.
3. Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. М.: Наука, 2000. — 383 с.
4. [www.intuit.ru/neyronniyeseti/html](http://www.intuit.ru/neyronniyeseti/html).

## Численный анализ квазилинейных уравнений в модели излучения

Попов Николай Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник  
Учреждение Российской академии наук Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН (г. Москва)

Мороз Ирина Игоревна, аспирант  
Московский физико-технический институт

Рассматриваются дифференциальные уравнения в частных производных гиперболического типа с нелинейной зависимостью характеристических направлений от неизвестных функций. Первые части этих уравнений также нелинейны относительно неизвестных решений. Кроме того они имеют особенность в пространстве независимых переменных. Эти уравнения описывают явление излучения гравитации. Численное решение этих уравнений дает сингулярное поведение решения, которое прогнозирует те или иные физические явления.

Основным свойством квазилинейных гиперболических уравнений является образование разрывов по типу ударной волны из-за нелинейной зависимости характеристических направлений от неизвестных решений (см., например, [1]). К таким уравнениям сводится модель излучения точечного источника гравитации [2]. Следует заметить, что разрывы возникают при определенных типах начальных условий. Кроме того, в правых частях дифференциальных уравнений имеется нерегулярность на некоторых кривых в пространстве независимых переменных. Численное решение указанных уравнений по методу характеристик демонстрирует все возможные сингулярные решения в зависимости от входящих параметров и от вида начальных условий.

### Уравнения геодезических

Уравнения геодезических в псевдоримановом пространстве имеют вид

$$\ddot{x}^k + \Gamma_{ij}^k \dot{x}^i \dot{x}^j = 0, k = 1, \dots, 4, \quad (1)$$

где  $\Gamma_{ij}^k$  — символы Кристоффеля. Для нахождения уравнений геодезических используем Лагранжев формализм. Для построения лагранжиана  $L$  используем метрику сферически симметричного пространства, имеющую вид относительно обобщенной сферически симметричной системы координат  $x_1, x_2, x_3, x_4$  ( $x_1 = \frac{r^3}{3}, x_2 = -\cos \Theta, x_3 = \phi, x_4 = t$ ).

$$dS^2 = f_4(x_1, x_4)dx_4^2 - f_1(x_1, x_4)dx_1^2 - f_2(x_1, x_4)\left(\frac{dx_2^2}{1-x_2^2} + (1-x_2^2)dx_3^2\right),$$

где

$$f_1 = \frac{1}{(3x_1)^{\frac{4}{3}} \left(1 - \frac{\alpha - \beta x_4}{(3x_1)^{\frac{1}{3}}}\right)}, \quad f_2 = (3x_1)^{\frac{2}{3}}, \quad f_4 = 1 - \frac{\alpha - \beta x_4}{(3x_1)^{\frac{1}{3}}},$$

$$\alpha, \beta > 0, \quad \alpha, \beta - const,$$

функции  $f_1, f_2, f_4$  являются решениями уравнения

$$T_r R_{ij} = 0,$$

где  $R_{ij}$  — тензор Риччи.

В качестве Лагранжиана используем выражение

$$L = f_4 \dot{x}_4^2 - f_1 \dot{x}_1^2 - f_2 \left( \frac{\dot{x}_2^2}{1-x_2^2} + (1-x_2^2) \dot{x}_3^2 \right), \quad (2)$$

где  $\dot{x}_i = \frac{dx_i}{ds}$ . Из определения Лагранжиана следует, что  $L = 1$ .



Выпишем уравнения Эйлера-Лагранжа

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} - \frac{d}{ds} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n$$

относительно лагранжиана (2).

Уравнения Эйлера-Лагранжа принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + \frac{1}{2f_1} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \dot{x}_1^2 + \frac{1}{f_1} \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \dot{x}_1 \dot{x}_4 + \frac{1}{2f_1} \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \dot{x}_4^2 - \frac{1}{2f_1} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \frac{\dot{x}_2^2}{1-x_2^2} - \\ - \frac{1}{2f_1} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} (1-x_2^2) \dot{x}_3^2 = 0 \\ \ddot{x}_2 + \frac{1}{f_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \dot{x}_1 \dot{x}_2 + \frac{1}{f_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \dot{x}_2 \dot{x}_4 + \frac{x_2}{1-x_2^2} \dot{x}_2^2 + (1-x_2^2) x_2 \dot{x}_3^2 = 0 \\ \ddot{x}_3 + \frac{1}{f_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \dot{x}_1 \dot{x}_3 + \frac{1}{f_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \dot{x}_3 \dot{x}_4 - \frac{2x_2}{1-x_2^2} \dot{x}_2 \dot{x}_3 = 0 \\ \ddot{x}_4 + \frac{1}{f_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \dot{x}_1 \dot{x}_4 + \frac{1}{2f_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \dot{x}_4^2 + \frac{1}{2f_4} \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \dot{x}_1^2 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Это и есть искомые уравнения вида (1). Второе и третье уравнения системы (3) можно проинтегрировать непосредственно, в результате чего получаем:

$$\dot{x}_2 = (C_2^2(1-x_2^2) - C_3^2)^{\frac{1}{2}} f_2^{-1}, \quad \dot{x}_3 = \frac{C_3}{(1-x_2^2)} f_2, \quad (4)$$

где  $C_2, C_3$  — произвольные постоянные.

Воспользовавшись тем, что лагранжиан  $L$ , определяемый соотношением (2), равен единице, находим, используя соотношение (4),

$$\dot{x}_4 = \left( f_1 \dot{x}_1^2 + \frac{C_2^2}{f_2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} f_4^{-\frac{1}{2}}.$$

Будем искать  $\dot{x}_1$  и  $\dot{x}_4$ , входящие в систему уравнений (3), в виде

$$\dot{x}_1 = \frac{C_1(x_1, x_2)}{f_1}, \quad \dot{x}_4 = \frac{C_4(x_1, x_4)}{f_4},$$

тогда первое и четвертое уравнения системы (3) принимают следующий вид

$$\begin{aligned} \dot{C}_1 + \frac{C_4^2}{2f_4^2} \frac{\partial f_4}{\partial x_1} - \frac{C_1^2}{2f_1^2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} - \frac{C_2^2}{2f_2^2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} = 0, \\ \dot{C}_4 - \frac{C_4^2}{2f_4^2} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} + \frac{C_1^2}{2f_1^2} \frac{\partial f_1}{\partial x_4} = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\dot{C}_i = \frac{\partial C_i}{\partial x_1} \dot{x}_1 + \frac{\partial C_i}{\partial x_4} \dot{x}_4, \quad i = 1, 4, \quad C_2 = \text{const},$$

$$C_4^2 = \left( \frac{C_1^2}{f_1} + \frac{C_2^2}{f_2} + 1 \right) f_4.$$

Система (5) может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1}{\partial x_1} \frac{C_1}{f_1} + \frac{\partial C_1}{\partial x_4} \left( \frac{C_1^2}{f_1} + \frac{C_2^2}{f_2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} f_4^{-\frac{1}{2}} + \left( \frac{C_1^2}{f_1} + \frac{C_2^2}{f_2} + 1 \right) \frac{1}{f_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_1} - \\ - \frac{C_1^2}{2f_1^2} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} - \frac{C_2^2}{2f_2^2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial C_4}{\partial x_1} \frac{C_1}{f_1} + \frac{\partial C_4}{\partial x_4} \frac{C_4}{f_4} - \frac{C_4^2}{f_4^2} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} + \left( \frac{C_2^2}{f_2^2} + 1 \right) \frac{1}{2f_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

### Исследование дифференциального уравнения

Рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial C_4}{\partial x_1} \left( \frac{C_4^2}{f_4} - \frac{C_2^2}{f_2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} f_1^{-\frac{1}{2}} + \frac{\partial C_4}{\partial x_4} \frac{C_4}{f_4} - \frac{C_4^2}{f_4^2} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} + \left( \frac{C_2^2}{f_2^2} + 1 \right) \frac{1}{2f_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_4} = 0, \quad (7)$$

Для удобства сделаем замену:

$$t = x_4, \quad x = x_1, \quad U = C_4.$$

Поделим уравнение на  $\frac{U}{f_4}$  и выпишем характеристическую систему:

$$\begin{aligned} X' &= \frac{f_4(f_2(-C_2^2 f_4 - f_2 f_4 + f_2 U^2))^{\frac{1}{2}}}{U} \\ U' &= \frac{\beta(C_2^2 + f_2)}{2f_2^{\frac{3}{2}}U} - \frac{\beta U}{f_2^{\frac{1}{2}}f_4} \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение (7) можно формально представить в виде:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \xi(U, t, x) \frac{\partial U}{\partial x} = f(U, t, x)$$

последнее является более общим случаем, так называемого, уравнения Хопфа (см. например [1]). Решение этого уравнения при различных линейных начальных условиях подробно описано в [1]. При линейных начальных условиях возможно, образование разрывов (аналог ударной волны) или всюду регулярное решение (по типу волны разрежения). Отметим также, что правая часть в (9) становится нерегулярной при  $f_4 = 0$ , то есть при

$$x = \frac{1}{3}(\alpha + \beta t)^3 - \frac{1}{3}\alpha^3. \quad (9)$$

Будем говорить, что (9) задает кривую вырождения. Численные решения (8) по методу характеристик (см. например [1]) приводит к следующим результатам. При  $\alpha = 100$ ,  $\beta = -0.0001$ ,  $C_2 = 100$  для широкого набора начальных условий не обнаруживается бесконечных производных по типу ударной волны. Решение становится неограниченным из-за того, что правая часть является бесконечной при приближении к кривой вырождения. Другими словами, характеристические кривые выходят на линию, где  $f_4 = 0$ . При противоположном знаке  $\beta$  картина поведения решения меняется. В частности берем  $\alpha = 3$ ,  $\beta = 0.01$ ,  $C_2 = 100$ ,  $U(x, 0) = 100 + x$  на отрезках  $[1, 10]$  и  $[11, 20]$ . Кривую вырождения характеристики не пересекают. Решения ведут себя по типу волны разрежения. Для первого начального условия характеристические кривые пересекают ось  $x = 0$ , где  $f_2 = 0$ . Здесь решение стремится к бесконечности.

Для противоположного по монотонности начального значения  $U(0, x) = 100 - x$ , заданного на отрезке  $[44, 86]$  получено пересечение характеристик при конечном времени («градиентная катастрофа» по типу ударной волны). Если начальные условия берутся на отрезке  $[1, 10]$  и  $[11, 20]$ , то характеристики не пересекают кривую вырождения, картина качественно такая же, как и при условии  $U(0, x) = 100 + x$ .

В других моделях из этой области, при замене  $\dot{x}_1 = C_1(x_1, x_4)$ ,  $\dot{x}_4 = C_4(x_1, x_4)$  уравнения выглядят так

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_1}{\partial x_1} C_1 + \frac{\partial C_1}{\partial x_4} C_4 + \frac{x_4^2 - R_0^2}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{x_1}{R_0^2} \cdot C_1^2 + \frac{R_0^2 + x_1^2}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{x_1}{R_0^2} \cdot C_4^2 - \\ & - \frac{R_0^2 + x_1^2}{R_0^2} \cdot \frac{C_2^2}{x_1^3} - \frac{2x_1^2 x_4}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{C_1 C_4}{R_0^2} = 0 \\ & \frac{\partial C_4}{\partial x_1} C_1 + \frac{\partial C_4}{\partial x_4} C_4 + \frac{x_4^2 - R_0^2}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{x_4}{R_0^2} \cdot C_1^2 + \frac{R_0^2 + x_1^2}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{x_4}{R_0^2} \cdot C_4^2 - \\ & - \frac{x_4}{R_0^2} \cdot \frac{C_2^2}{x_1^2} - \frac{2x_1 x_4}{R_0^2 + x_1^2 - x_4^2} \cdot \frac{C_1 C_4}{R_0^2} = 0 \end{aligned}$$

Решение этой системы имеет вид

$$\begin{aligned} C_1 &= \alpha R_0 \cos \frac{S}{R_0}, \\ C_4 &= \beta R_0 \cos \frac{S}{R_0} \\ S &= \frac{x_1 R_0}{\alpha_1} \arcsin \frac{x_1}{\alpha_1} \end{aligned}$$

Оно является регулярным для любых  $x_1, x_4$ .

И так, в моделях наблюдаются разрывные решения, а также возможность неограниченности.

С другой стороны возможны случаи, когда решения являются регулярными во всем пространстве независимых переменных.

*Литература:*

1. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений. М.: Наука, 1978, стр 76–78.
2. Башлыков А. М., Попов Н. Н., Цурков В. И. Решение нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, встречающихся в задаче излучающего точечного источника гравитации // ЖВМиМФ. 2012. V.52. N.7. P.1294–1303.

## Концептуальная модель для систем обработки событий

Серова Екатерина Алексеевна, магистр

Московский государственный технологический университет «Станкин»

### Обзор сценария обработки событий

Разработаем сценарий обработки событий:

— Сценарий составления учебных модулей для системы дистанционного обучения (ДО).

После изложения сценария отобразим на нем различные концепции обработки событий и рассмотрим возникающие при этом преимущества.

Начнем с описания бизнес-контекста сценария и продолжим рассмотрением вовлеченных в него событий и отображения на аспекты концептуальной модели.

### Сценарий составления учебных модулей для системы ДО

Сценарий описывает выполнение тестовых учебных модулей в системе дистанционного обучения учащимся (группой учащихся). Каждый учащийся имеет доступ в личный кабинет при помощи логина и пароля. В соответствии с выбранным учебным курсом учащийся должен изучать каждый учебный модуль в течение 2 часов. Для каждого учебного материала установлено правило, если более 60 % учащихся не выполняют учебный модуль за отведенное время, учебный модуль отправляется на эк-

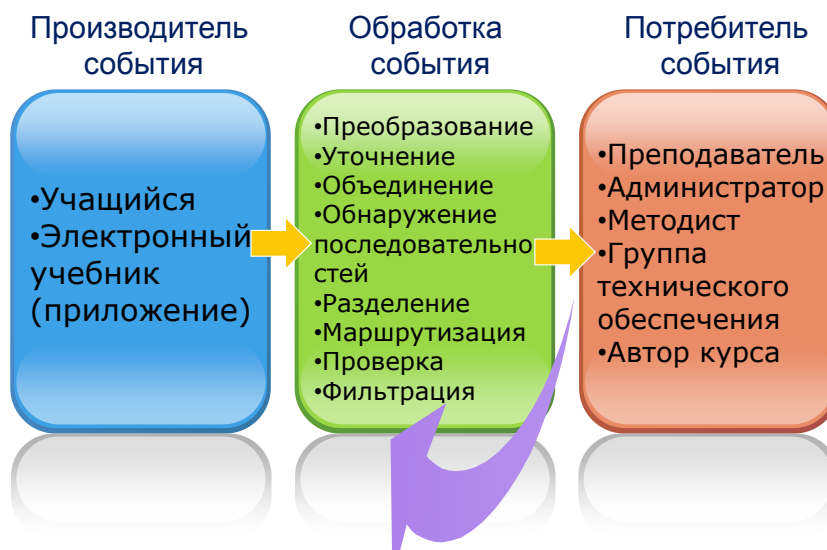


Рис. 1. Обзор сценарий составления учебных модулей для системы ДО

спертизу группе технического обслуживания, модератору, преподавателю на доработку/исправление ошибок.

Идеи данного сценария основаны на решениях IBM. Вот некоторые цели, которые преследуют составители и организаторы дистанционных учебных курсов:

- Уменьшить время на освоение учебного материала.
- Отслеживать работу учащихся и приложения.
- Предоставлять оперативную информацию потребителям событий.
- Найти оптимальное сочетание информационно справочного материала, лабораторных работ, контрольных заданий и т. д.
- Снизить оперативные затраты.
- Уменьшить незапланированные затраты на обслуживание.

Чтобы составлять учебные модули, учебное заведение (университет, колледж, школа, центр дополнительного образования) выбирает использование обработки событий в рамках своей системы. В результате учебное заведение способно быстро реагировать и исправлять/дополнять учебные модули. Благодаря обработке событий учебное заведение может влиять на возможности и риски по мере их материализации и принимать решения о дальнейших действиях. Учебное заведение также способна осуществлять изменения и реализовывать их быстро и уверенно, просто меняя логику или приложения обработки событий.

В следующих разделах мы рассмотрим применяемые события и концепции обработки событий для данного сценария.

### Сценарий сети обработки событий

Отобразим определения и компоненты сети обработки событий на сценарии составления учебных модулей для системы ДО.

Ниже перечислены компоненты сети обработки событий, описывающие не все аспекты, упомянутые в качестве целей информационной системы. Учебное заведение руководствуется определенными правилами. В частности, выполнение одного учебного модуля не должно превышать 2 часов. Любой учащийся, превысивший это время, нуждается в отдыхе, а учебный модуль в доработке, если число учащихся не выполнивших учебный модуль превышает 60 %. Имеется система оповещения учащихся, из которой формируются события начала и конца выполнения учебного модуля. На основе этих событий можно выполнить процесс передачи учебного модуля модератору, технической группе и т. д. Кроме того, имеются определенные требования к пополнению событий информацией, обнаружению шаблона «превышение времени на выполнение задания» и маршрутизации, которые описаны в виде агентов обработки событий.

На рисунке 2 схематически показаны компоненты этой EPN.

### Отображение сценария на концептуальную модель

В данном разделе мы снова рассмотрим наш сценарий обработки событий и покажем, как он отображается на компоненты концептуальной архитектуры.

Определив в предыдущем разделе различных участников (производителей и потребителей сообщений), события и агенты обработки событий, можно отобразить сценарий на концептуальную архитектуру обработки событий (см. рисунок 3). Взаимосвязь производителей и потребителей событий довольно очевидна. Все агенты, за исключением агента маршрутизации A4, отображаются на компонент обработки событий в шине событий. В отображения на генератор событий и на часть обработчиков событий концептуальной модели отсутствуют, так как два события E1 и E3, генерируемые системой отчетности учащихся, не требуют



Таблица 1

## Производители событий

Производитель событий	Описание
Учащийся	Следуя учебному плану и расписанию, изучает структуру курса, материалы электронного учебника, выполняет необходимые самостоятельные работы и контрольные задания, отправляет их преподавателю, задает вопросы.
Система оповещения учащихся	Часть электронного учебника.
Электронный учебник	Учебник с динамически изменяющимся контентом, с системой контроля, системой авторизации, системой оповещения учащихся.

Таблица 2

## Потребители событий

Потребитель событий	Описание
Автор курса	Осуществляет авторское сопровождение, разрабатывает рабочую программу курса, анализирует процесс обучения, результаты обучения, проводит коррекцию и обновление материалов.
Методист	Может выполнять консультирующую роль, участвовать в мониторинге учебного процесса с тем, чтобы по его исходу с наибольшей эффективностью совместно с автором курса обновлять и корректировать учебные материалы.
Преподаватель ДО	Знакомит с учебным планом, с электронным учебником; направляет, консультирует, выдает задания
Администратор	Решает вопросы зачисления/отчисления обучающихся, проводит регистрацию пользователей — обучающихся в системе ДО (пароли доступа, снабжение необходимыми пособиями, рекомендациями)
Техническая группа	Исправляет ошибки в программных средствах, сетевых ресурсах. Обеспечивает работу необходимых программных средств, доступ к комплексу информационно-учебных серверов.

Таблица 3

## Типы событий

Идентификатор события	Тип события	Атрибуты	Комментарии
E1	Уведомление о входе учащегося в учебный модуль	Отметка времени; идентификатор учащегося	-
E2	Уведомление о входе учащегося в учебный модуль (расширенное)	Отметка времени; идентификатор учащегося; идентификатор устройства (номер компьютера); фамилия учащегося	-
E3	Уведомление о выходе учащегося из учебного модуля	Отметка времени; идентификатор учащегося	Может быть основано на структуре E1.
E4	Время выполнения учебного модуля превышено	Отметка времени; идентификатор учащегося; идентификатор устройства; фамилия учащегося	-
E5	Уведомление о передаче учебного модуля на доработку	Отметка времени; идентификатор учащегося; идентификатор устройства; идентификатор модератора	-



специальной обработки и могут обрабатываться агентами A1 и A2 в своем исходном виде, а E5 может потребляться всеми потребителями в своем исходном виде [2].

Обработка событий играет важную роль в сценарии составления учебных модулей для системы ДО, поскольку позволяет своевременно реагировать на всю разнообразную информацию.

### **Заключение**

Представлен сценарий, демонстрирующий использование управляемой событиями обработки для получения

значимого бизнес-результата. На примере его отображения на концептуальную модель показано, как можно применить данную концептуальную модель в различных практических ситуациях.

По мере расширения понимания бизнес-ценности и возможностей системы обработки бизнес-событий будет повышаться и важность наличия концептуальной модели и архитектуры, на основе которых можно строить логическую и физическую архитектуры для реализации решений по обработке бизнес-событий [1].

### *Литература:*

1. [http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/wseventprocessing/index.html?S\\_TACT=105AGX99&S\\_CMP=CP2](http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/wseventprocessing/index.html?S_TACT=105AGX99&S_CMP=CP2).
2. Сеть обработки событий и её реализация (EN), О. Этцион и Г.Шарон (O Etzion and G. Sharon), IBM Systems Journal, том 7, № 42 (2008 год).

## **Разработка мультимедийного информационно-экспозиционного комплекса музеев Хивы**

Юсупов Файзулла Анварович, студент

Ургенчский филиал Ташкентского университета информационных технологий (Узбекистан)



Узбекистан — страна древней высокой культуры, давшая миру прекрасные образцы архитектуры. Только в одной Хорезмской области находится около 300 исторических памятников. Древняя Хива<sup>1</sup> является одним из трех наиболее важных туристических центров Узбекистана с большим историко-культурным и этнографическим потенциалом. Согласно данным статистического Интернет опроса, проводимого с 7 мая по 7 августа, 2008 года, большинство опрошенных — 39 %, посещают страну из-за интереса к ее историческим и архитектурным достопримечательностям. Другая группа — 24 % посещает Узбекистан ради ознакомления с культурой, традициями и образом жизни. Таким образом, большинство туристов желают посетить: исторические места, памятники, музеи и художественные галереи, древние здания и соору-

жения (например, древние крепости, мечети, медресе, библиотеки, бывшие тюрьмы и колодцы), а также парки, национальные фестивали и другие культурные мероприятия.

Хива — один из немногих городов мира, где практически сохранилась историческая застройка, по сути, целый город под открытым небом. Город музеев Хива до сей поры удивляет туристов мира своей изумительной красотой и считается шедевром Хорезмской архитектуры. Основная задача наших исследований является создание мультимедийного комплекса музеев Хивы на основе самых последних достижений мультимедийных и интернет технологий. Она будет представлять собой высококачественные графики, уникальную подборку аудио и видео клипов, 3-х мерных анимированных моделей, интерактивных панорам, таблиц и других мультимедиа объектов расширяющий

<sup>1</sup> Хива — город музеев по открытому небом.

кругозор посетителей музеев, туристов Хивы.

«В настоящее время мультимедиа-технологии являются бурно развивающейся областью информационных технологий» [2] Поставленная нами задача ранее не решалась. Результаты работы впервые в Узбекистане посетителю музеев Хивы предоставить возможность познакомиться с электронным этикетажом многих, а в будущем всех, экспонатов музея, рассмотреть в подробностях и в разных ракурсах заинтересовавший его экспонат. В продукте будет представлена более 150 архитектурных памятников, относящихся к 32 стилям и 8 историческим эпохам. Рассказы об архитектурных памятниках Хивы и эпохах сопровождаются оригинальной музыкой и радующими глаз изображениями. Кроме того имеются панорамные видеофрагменты, рассказывающие о наиболее известных сооружениях. Дополнительная информация, рассказывающая смысл архитектурных терминов, может быть получена в гиперссылках.

Для создания виртуальных музеев, виртуального исторического города Хивы используется программы Ulead video Studio, Active Tutor, 3D MAX Studio, Macromedia Flash. В разработке программного обеспечения используется язык программирования Delphi 7.0, Javascript, HTML. Все данные будут разрабатываться с помощью системы **Inform Navigator**. Inform Navigator — это набор технологий в области обработки и представления данных. Система будет демонстрировать фотографии и видеозаписи, посвященные истории музеев Хивы, а кроме того, туристы смогут прослушать аудиокomentarии, записанные на английском и немецком языках. Набрав на клавиатуре номер произведения искусства, мультимедийный гид выдает на экране изображение данного шедевра с комментарием искусствоведа. Также можно отметить с помощью стилета номера, указанные на плане, и каждый номер будет соответствовать определенному экспонату. Для тематической экскурсии достаточно вывести ее программу на экран и проложить маршрут по своему выбору, отмечая пункты стилетом. После чего план высвечивается автоматически, и голос диктора объясняет, как наиболее удобно добраться до интересующего экспоната. **Электронный экскурсовод** позволяет выби-

рать любой порядок осмотра, помогает не заблудиться, не торопит и не заставляет ждать, пока соберется группа. Не требуют специального устройства для прослушивания: достаточно иметь мобильный телефон. **Мультимедийный гид** более продвинутый по сравнению с предыдущих приборов с цветным экраном. Гид не только рассказывает об экспонатах, но и помогает ориентироваться, показывая на экране интерактивный план музея.

Основные этапы выполнения задачи заключается в следующем:

**1-ЭТАП** — готовится техническая сфера и дополнительные совокупности. Разрабатывается база данных, проиллюстрированные 1324 аннотированными изображениями. подготовка 67 слайд-шоу, 19 аудио-роликов, 17 видео и монтаж сюжетов о шедеврах Хивы. Предполагается дальнейшее наращивание количества изображений и аудио-материалов мультимедийного гида. Все данные будут разрабатываться с помощью системы Inform Navigator. Система предназначена для быстрого нахождения интересующих сведений среди большого объема малоструктурированной информации, а также просмотра истории изменения документов.

**2-ЭТАП:** Предусматривается разработка форма паспорта предмета 10 вариантов для разных типов памятников: этнографические, археологические, анатомические, остеологические памятники, памятники изобразительного искусства и т. д. Будет составлено классификаторы-справочника. Все разделы будут иметь англо-немецкий эквивалент, что будет проявлять интерес у зарубежных туристов.

В будущем большинство медиа файлов могут эффективно использованы в качестве наглядных и аудиовизуальных пособий для среднего образования. Так как актуальностью является не существования таких типов мультимедийных гидов для музеев Хивы. Поэтому необходима разработка мультимедийного информационно-экспозиционного комплекса-удобного, интересного для всех посетителей. Это не только прикладной проект, но и технология, с помощью которых можно будет либо очень быстро реализовывать, либо поднять существующие проекты на более высокий уровень развития.

#### *Литература:*

1. Филимонов А. Построение мультисервисных сетей Ethernet. -Москва. 2007
2. <http://technologies.su/multimedia-tehnologii>

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### Влияние нанотехнологий и наноматериалов на человека и остальной живой мир

Занина Кира Александровна, студент;

Цуркин Анатолий Петрович, преподаватель

Государственный университет экономики, статистики и информатики — МЭСИ (г. Москва)

«За последние несколько лет в мировое сознание быстро вошло короткое слово с большим потенциалом. Это слово — «нано». Оно будит в воображении догадки о сильнейших сдвигах практически во всех аспектах науки и техники, имеет последствия для этики, экономики, международных отношений, повседневной жизни и даже понимания человеком своего места во Вселенной. Мечтатели расхваливают его как панацею от всех бед. Паникёры видят в нём новый этап биологических и химических войн или, в крайних случаях, возможность создания биологических типов, которые, в конце концов, заменят человечество». (Марк Ратнер профессор Нортвестернского университета).

Прошло не так уж много времени с момента открытия Жакоба и Мано и расшифровки механизма синтеза белка. Но уже сегодня наука способна воспроизводить механизмы репликации на микроструктурах, создавая вещества, основанные на совершенно новых технических принципах. Переход от манипуляции с веществом к манипуляции с отдельными атомами и молекулами дал начало новому направлению в науке — нанотехнология. Основой сегодняшней наноиндустрии является управляемый механосинтез, т. е. составление молекул из атомов по средствам их сближения до тех пор, пока не вступят в действие необходимые химические связи. В последнее время во всем мире все больше внимания уделяется будущему нанотехнологий. Наибольшие надежды подает определение, данное директором Национального Фонда Науки США Ритой Колвелл: «Нанотехнологии — это ворота, открывающиеся в иной мир».

Нанотехнологии делятся на три типа [1]:

- «инкрементные» составляют промышленное использование наночастиц в автокосметике и красках для автомобилей;

- эволюционные» представлены наномерными датчиками, пользующимися флуоресцентные характеристики квантовых точек и электрические свойства углеродных нанотрубок. Данные разработки находятся пока в начальном состоянии;

- «радикальные» нанотехнологии.

Продукцией нанотехнологий являются различные материалы и препараты, содержащие наночастицы. Под

наночастицами понимаются частицы, размер которых не превышает 100 нм хотя бы в одном измерении с заданной структурой и свойствами. Следует отметить, что термин «наночастицы» не отражает принципиально нового содержания, вкладываемого в данное понятие. Во-первых, наночастицы отличаются от объемного материала наличием двумерной метастабильной фазы, обладающей особыми структурными и энергетическими свойствами. Во-вторых, наиболее активные наноструктуры имеют неплоскую форму двумерных слоев, что сопровождается наведением дополнительного дипольного момента и появлением межмолекулярного сопряжения вдоль двумерных границ. В-третьих, появление протяженных плоскостей (особенно сферической и цилиндрической формы) электронного сопряжения возбуждает коллективные электронные и колебательные состояния и способствует делокализации, т. е. распространению валентных электронов по нескольким химическим связям в соединении [2].

Классификация наночастиц может быть построена на характеристиках их формы. В этом случае различают точечные наночастицы (с размером менее 100 нм в любом измерении), линейные (протяженные) объекты, такие как углеродные нанотрубки, нановолокна, нанонити, нанофиламенты, обладающие одним протяженным макроскопическим измерением (длиной), двумерные объекты (плёнки километровой толщины) и, наконец, трехмерные объекты с тонкой структурой в нанометровом диапазоне (нанопен), нанокомпозиты и др. Другой тип классификации основан на химическом составе и включает наночастицы углерода (фуллерены, нанотрубки, графен), наночастицы элементарных веществ, бинарных соединений (окислов, сульфидов, нитридов и др.), сложных химических соединений, наночастицы органических полимеров и биологических макромолекул. И следующий тип классификации, который основан на пути получения веществ в наноформе — это получение наночастиц путём сверхтонкого помола веществ в форме сплошных фаз или макродисперсий [3].

Поскольку вещество в виде наночастиц и наноматериалов обладает свойствами, часто радикально отличными от их аналогов в форме макроскопических дисперсий



или сплошных фаз, наноматериалы представляют собой принципиально новый фактор, воздействующий на организм и среду его обитания. Вникая в существо вопроса, следует отчетливо себе представлять неизбежность возникновения сложных научных проблем, связанных с воздействием нанотехнологии на организм человека и окружающую среду и опасность вмешательства нанофактора в интимные жизненно важные процессы, протекающие как в живом организме, так и во всей экосистеме. Отсюда вытекает первая задача — изучение процессов превращения продуктов нанотехнологии в организме человека. Необходимо знать, как поведут себя в организме искусственно собранные вещества и каковы будут особенности их метаболизма, как будет протекать конъюгация и транспорт токсиканта в клетке, а также механизмы регулирования этими процессами. Следует предполагать возможность влияния продуктов нанотехнологии на генные структуры и механизмы регуляции синтеза белка. Неизбежно возникает комплекс проблем, связанных с иммунотоксикологией и аллерготоксикологией и, наконец, то, что называют отдаленными последствиями интоксикации, включая опасность для системы воспроизводства и потомства. К сожалению, малоизвестно о потенциальных экологических последствиях использования наноматериалов. Учитывая уникальные свойства наноматериалов, необходимо разработать методы оценки риска возможного негативного воздействия материалов на здоровье человека и организацию контроля над их оборотом [3].

При разработке путей и подходов к оценке безопасности наноматериалов, в первую очередь необходимо рассмотреть особенности их физико-химических свойств и биологического действия, которые отличают их от аналогов того же химического состава в виде сплошных фаз микроскопических дисперсий. Можно выделить следующий ряд физико-химических признаков веществ в наноразмерном состоянии. Во-первых, нарастание химического потенциала на межфазной границе высокой кривизны. Наночастицы обладают большой кривизной поверхности, что послужило причиной модификации их химических потенциалов. Ввиду этого значительно меняется реакционная и каталитическая способность наночастиц и их составляющих, растворимость. Во-вторых, немалая удельная поверхность наноматериалов. Огромная удельная поверхность наноматериалов преумножает их каталитические свойства, адсорбционную емкость и химическую реакционную способность. Это может привести, например, к приумножению продукции активных форм кислорода и свободных радикалов и далее к повреждению биологических структур (нуклеиновые кислоты, липиды, белки). В-третьих, малые размеры и многообразие форм наночастиц. Наночастицы в силу своих небольших размеров могут объединяться с белками, нуклеиновыми кислотами, закрепляться в мембраны, прорываться в клеточные органеллы и, как следствие, преобразовывать функции биоструктур. При этом наночастицы могут не возбуждать иммунный ответ и не устраняться защит-

ными барьерами живого организма. Процессы перемещения наночастиц в окружающей среде с водными и воздушными потоками, их накопление в донных отложениях, почве могут также ощутимо разниться с поведением частиц веществ, размеры которых превышают размеры наночастиц. В-четвертых, внушительная адсорбционная активность. Ввиду своей высокоразвитой поверхности для наночастиц характерны признаки высокоэффективных адсорбентов, то есть, они способны поглощать на единицу своей массы во много раз больше адсорбируемых веществ, чем макроскопические дисперсии. Возможна, например, адсорбция на наночастицах различных загрязнителей и облегчение их транспортировки вовнутрь клетки, что преумножает токсичность последних. Многие из наноматериалов являются электрически заряженными или обладают гидрофобными свойствами, что преумножает процессы адсорбции на них различных токсикантов и также их умение прорываться через защитные барьеры организма. В-пятых, высокая способность к аккумуляции. Из-за своего небольшого размера наночастицы не распознаются защитными барьерами живого организма, они не подчиняются биотрансформации и не выводятся из организма, что служит причиной скопления наноматериалов в растительных и животных организмах, а также микроорганизмах, передачи по пищевой цепи, тем самым, увеличивая вероятность их попадания в организм человека. Все эти факторы доказывают, что наноматериалы обладают совершенно иными химико-физическими характеристиками и биологическим действием, чем вещества в обычном состоянии. Поэтому они должны быть приписаны к совершенно иным видам материалов и продукции, оценка потенциального риска которых для здоровья человека и состояния среды обитания во всех случаях является чрезвычайно необходимой.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что при оценке безопасности наноматериалов в первую очередь следует учитывать их воздействие на такие важнейшие биологические характеристики, как проницаемость биомембран, генотоксичность, активность окислительно-восстановительных процессов, включая перекисное окисление липидов, биотрансформация и элиминация из организма [3].

Одним из основных вопросов методики оценки риска наноматериалов является наличие высокочувствительных методов обнаружения, распознавания и качественного обнаружения наноматериалов в объектах окружающей среды, биологических средах и пищевых продуктах. Методы, применяемые для характеристики физико-химических свойств [3,4]:

- химический состав частиц;
- фазовый состав частиц;
- распределение частиц по размерам;
- форма наночастиц;
- оценка взаимодействия с биологическими макромолекулами, возможность проникновения через биологические барьеры.

Использование этих методов позволяет изучить закономерности взаимодействия наночастиц с биологическими объектами в диапазоне от молекулы до клетки и те изменения свойств наноматериалов, которыми это взаимодействие может сопровождаться, позволяет охарактеризовать нарушения в структуре биологических макромолекул, надмолекулярных комплексов, мембран и клеточных органелл, которые могут возникать под влиянием наноматериалов.

Определяющим моментом в оценке риска является установление возможной токсичности наноматериалов. Имеющееся в настоящее время незначительное количество исследований в этом направлении указывает на токсичность наноматериалов. Известно, что даже однократная ингаляция углеродных нанотрубок и наночастиц некоторых других типов приводит к воспалительному процессу в легочной ткани с последующим развитием фиброза и некрозом клеток. Наноматериалы обладают нейротоксичностью за счет преодоления гематоэнцефалического барьера, вызывая окислительный стресс в клетках мозга. Кардиотоксичность и гепатотоксичность наноматериалов определяются развитием окислительного стресса и воспалительной реакции, что приводит к некрозу и апоптозу клеток. Также известно, что наночастицы могут неблагоприятно влиять на систему свёртываемости крови. Фактически в настоящее время токсичность наноматериалов изучена недостаточно, в том числе нет данных по метаболизму и механизму действия, не определены критические органы системы. При оценке риска также следует обратить внимание на три важнейших характеристики наноматериалов. Во-первых, в большинстве проведенных исследований указывается на то, что определяющим в токсичности наноматериалов является развитие окислительного стресса и повреждение ДНК, что может приводить к апоптозу, некрозу клетки и воспалительной реакции. Во-вторых, принципиально важной характеристикой является их нерастворимость в воде и биологических средах. Еще одной важной характеристикой наночастиц является показатель их формы — «аспектное отношение», т. е. отношение длины частиц к их минимальному линейному размеру.

Следующим важным этапом является оценка поступления, распределения и выведения наноматериалов из организма. В настоящее время существуют три основных способа попадания наноматериалов в организм человека: перорально, ингаляционный и через кожу. Вопрос о возможных путях поступления наночастиц различной при-

роды в организм, их прохождения через биологические барьеры, распределения и накопления в различных органах и тканях в настоящее время интенсивно исследуется. Таким образом, оценка безопасности наноматериалов должна включать следующие основные блоки [5]:

- методы количественного определения, обнаружения и идентификации наноматериалов в объектах окружающей среды, биологических средах и пищевых продуктах, позволяющие отличить наноматериалы от их аналогов в макродисперсной форме;

- изучение действия наноматериалов на белки, липиды, нуклеиновые кислоты (РНК, ДНК, клеточные мембраны, рибосомы, ферменты);

- изучение способов проникновения наноматериалов через биомембраны, взаимодействия с мембранными рецепторами;

- изучение изменения свойств наночастиц в составе модельных систем, воспроизводящих различные среды живого организма (кишечное и желудочное содержимое, лимфа, кровь, моча, желчь и т. д.);

- определение параметров хронической и острой токсичности, органотоксичности (нейротоксичность, гепатотоксичность, кардиотоксичность, иммунотоксичность и др.) и отдаленных эффектов (мутагенность, эмбриотоксичность, тератогенность, канцерогенность), а также распределения наноматериалов по органам и тканям;

- определение параметров I и II фазы метаболизма ксенобиотиков и системы антиоксидантной защиты;

- изучение влияний наноматериалов на апоптоз генов, генотоксичность, экспрессию;

- изучение выживаемости пробиотических микроорганизмов нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта в присутствии наноматериалов, определение воздействия наноматериалов на микробиоценоз желудочно-кишечного тракта.

Таким образом, полная система оценки риска наноматериалов включает обширный комплекс физико-химических, биохимических, молекулярно-биологических, токсикологических тестов и специальных исследований, позволяющих провести оценку их воздействия на биологические объекты [5].

Учитывая вышеизложенное, следует отметить актуальность исследования токсичности и опасности наночастиц при различных путях поступления в организм, оценки степени потенциального вреда здоровью человека, расчет рисков.

#### Литература:

1. Алфимов М. В., Разумов В. Ф., Доклад рабочей группы «Индустрия наносистем и наноматериалов», Российские нанотехнологии, Т.2, 2007 г.
2. Арчаков А. И., Иванов Ю. Д., Плешаков Т. О. и др., «Атомно-силовая микроскопия для медицинской диагностики. Физикохимия ультрадисперсных наносистем», Материалы VII Всероссийской конференции, Москва, 2005 г.
3. «О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы». Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 54 от 23.07.2007 г.

4. «О надзоре за производством и оборотом продукции, содержащей наноматериалы». Информационное письмо Роспотребнадзора № 0100/4502—07—02 от 02.05.2007 г.
5. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, Р 2.1.10.1920—04. Рахманин Ю. А., Новиков С. М., Шашина Т. А. и др., М., Федеральный центр Россанэпиднадзора Минздрава России, 2004 г.

## Определение координат местоположения объекта в сетях GSM и UMTS

Комраков Дмитрий Вячеславович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*Статья посвящена комплексному исследованию определению координат наземного подвижного объекта в сетях GSM и UMTS. Представлен метод для определения собственных координат на борту наземного подвижного объекта без использования запросов центра коммутации. Компьютерным моделированием с помощью пакета прикладных программ MatLAB оценены характеристики точности полученного алгоритма.*

**Ключевые слова и фразы:** базовая станция, наземный подвижный объект, система GSM позиционирования, спутниковая навигационная система.

## Definition of Coordinates of the Site of Object in Networks GSM and UMTS

Komrakov D. V.

*Article is devoted complex research to definition of co-ordinates of land mobile object in networks GSM and UMTS. The method for definition of own co-ordinates onboard mobile object without use of inquiries of the centre of switching is presented. Computer modelling by means of a package of applied programs MatLAB estimates characteristics of accuracy of the received algorithm.*

### Введение

Для определения координат и параметров движения подвижных наземных объектов в последнее время широко используются навигационные системы [1–4]. Состав навигационных систем определяется исходя из необходимости определения текущих координат местоположения подвижного объекта методом счисления и коррекции счисленных координат. Для коррекции координат в навигационных системах широкое применение нашли среднеорбитальные спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС (глобальная спутниковая навигационная система) и NAVSTAR (Navstar — Navigational Satellite Time and Ranging — навигационный спутник измерения времени и координат) или по ее фактическому назначению GPS. Основными достоинствами данных радионавигационных систем являются: неограниченная дальность действия; высокая точность; однозначность навигационных определений; возможность измерения углов ориентации; высокая помехоустойчивость; неограниченность числа обслуживаемых объектов.

В результате приема и алгоритмической обработки сигналов данных систем приемная аппаратура подвижного наземного объекта, определяет координаты объекта, вектор скорости движения и текущее время. Однако, наряду с достоинствами спутниковых навигационных систем им присущи и недостатки. Это, прежде всего подверженность, как и всех радиотехнических измерителей, воздействию помех и трудности определения местоположение абонента в городе с плотной застройкой из-за многолучевости распространения радиосигнала.

Совершенствование систем навигации подвижных наземных объектов возможно за счет применения систем, принцип действия которых основан на применение новых технологий. В качестве таких систем целесообразно использование сотовой наземной радиотехнической инфраструктуры с наращиванием ее дополнительными базовыми и контрольно-корректирующими станциями [4].

В настоящее время сотовые операторы предлагают услуги по определению местоположения абонента [5]. Решение задачи местоопределения абонента в сетях сотовой связи началось с простейшего метода — Cell ID. Этот метод базируется на определении местоположения абонента с точностью до соты. Погрешность местонахождения таким способом достаточно низка и может достигать до 30 км. Существуют и другие методы позиционирования в сетях GSM и UMTS

такие как Time of Arrival (TOA) и Observed Time Difference (OTD). Метод TOA основан на измерении и сравнении интервалов времени прохождения сигнала от мобильного телефона до нескольких (не менее 3-х) базовых станций. Достижимая при этом методе точность определения местоположения до 125 метров. Метод OTD базируется на измерении и сравнении интервалов времени прохождения сигналов от нескольких базовых станций до мобильного телефона. В данном методе можно достичь точность определения местоположения до 50 метров. Совмещение приемников сотовых телефонов с приемниками систем спутниковой навигации позволило разработать метод Assisted Global Positioning System (A-GPS) позволяющий определять текущее местоположение с точностью порядка 10 метров.

Существенным недостатком данных методов является необходимость запроса с целью использования самих базовых станций или центра коммутации для вычисления координат. При этом информация о местоположении выдается абоненту с задержкой, определяемой временем от получения запроса центром коммутации и вычисления координат местоположения до отправки сообщения о местонахождении абоненту.

**Цель работы:** разработка позиционным методом алгоритма определения на борту подвижного наземного объекта координат местоположения с использованием информации о направлении приема сигналов от базовых станций GSM и исследование характеристик точности определения координат местоположения.

**Постановка задачи.** Пусть имеются две базовые станции GSM или UMTS с известными координатами  $A(x_1; y_1)$  и  $B(x_2; y_2)$  (рисунок 1). Считаем, что на борту подвижного наземного объекта с помощью узконаправленных антенн определяются углы азимута  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  на первую и вторую базовую станцию соответственно. Необходимо, используя позиционный метод, определить координаты точки  $O(x; y)$  местоположения подвижного наземного объекта.

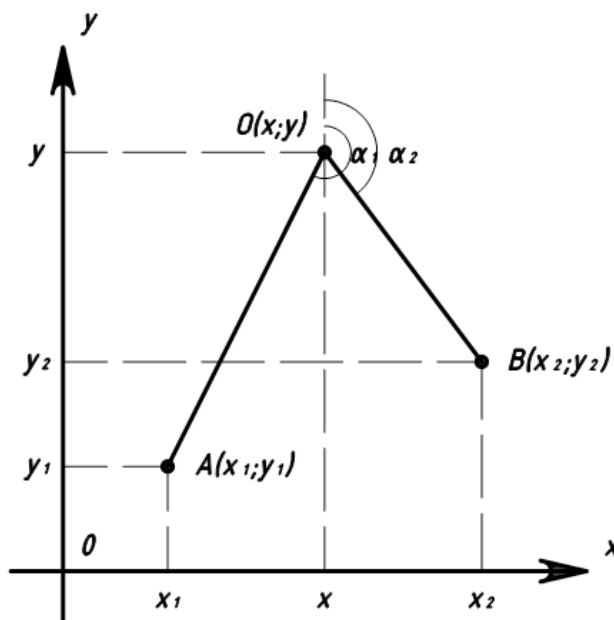


Рис. 1

### Алгоритм определения местоположения объекта

Координаты точки  $O(x; y)$  местоположения подвижного наземного объекта будем определять как точку пересечения двух прямых [6]. Для этого запишем уравнение прямой общего вида:

$$y = kx + d, \quad (1)$$

где  $k = \tan \alpha$  — тангенс угла наклона.

Зная координаты базовых станций, определим используя (1) величины  $d_1$  и  $d_2$ :

$$d_1 = y_1 - \tan \alpha_1 \cdot x_1$$

$$d_2 = y_2 - \tan \alpha_2 \cdot x_2$$

Запишем систему уравнений для нахождения координат точки  $O(x; y)$ :

$$\begin{cases} y = \tan \alpha_1 \cdot x + d_1 \\ y = \tan \alpha_2 \cdot x + d_2 \end{cases} \quad (2)$$

Подставим в систему (2) коэффициенты  $d_1$  и  $d_2$ :

$$\begin{cases} y = tg\alpha_1 \cdot x + y_1 - tg\alpha_1 \cdot x_1 \\ y = tg\alpha_2 \cdot x + y_2 - tg\alpha_2 \cdot x_2 \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему (3), выразим координаты точки  $O(x; y)$  пересечения двух прямых:

$$x = \frac{y_2 - tg\alpha_2 \cdot x_2 - y_1 + tg\alpha_1 \cdot x_1}{tg\alpha_1 - tg\alpha_2}, \quad (4)$$

$$y = tg\alpha_1 \cdot \left( \frac{y_2 - tg\alpha_2 \cdot x_2 - y_1 + tg\alpha_1 \cdot x_1}{tg\alpha_1 - tg\alpha_2} \right) + y_1 - tg\alpha_1 \cdot x_1. \quad (5)$$

Полученные выражения (4) и (5) являются искомыми координатами подвижного наземного объекта. Для их вычисления необходимо знать координаты базовых станций А  $(x_1; y_1)$ ; В  $(x_2; y_2)$  и углы азимута  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  на эти станции.

### Исследование точностных характеристик алгоритма определения местоположения объекта

Среднеквадратическое значение радиальной погрешности определения местоположения объекта будет определяться выражением:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2},$$

где  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_y^2$  — дисперсии погрешностей определения координат местоположения объекта по осям ОХ и ОУ. Погрешности вычисления координат объекта определяются равенствами:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_{\text{ист}} \\ \Delta y &= y - y_{\text{ист}} \end{aligned}$$

где  $x$  и  $y$  вычисленные координаты объекта;  $x_{\text{ист}}$  и  $y_{\text{ист}}$  истинные значения координат объекта.

Как следует из (4) и (5) погрешности  $\Delta x$  и  $\Delta y$  вызваны тем, что координаты базовых станций  $x_1, y_1, x_2, y_2$  и углы азимута  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  определяются с погрешностями. Полагаем, что погрешности являются взаимонезависимыми случайными величинами. Дисперсии погрешностей определения координат объекта по осям ОХ и ОУ соответственно равны:

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= M\left\{\left\{\Delta x^*\right\}^2\right\}, \\ \sigma_y^2 &= M\left\{\left\{\Delta y^*\right\}^2\right\}, \end{aligned}$$

где  $M[\bullet]$  — означает операцию усреднения по множеству реализаций; индекс \* означает центрированное значение случайной величины.

Для определения дисперсии  $\sigma_x^2$  погрешности определения координаты местоположения объекта по оси ОХ разложим в ряд Тейлора относительно истинных значений  $x_{1\text{ист}}, y_{1\text{ист}}, x_{2\text{ист}}, y_{2\text{ист}}, \alpha_{1\text{ист}}, \alpha_{2\text{ист}}$  выражение (4). Ограничиваясь линейными членами разложения и полагая, что погрешности  $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2, \Delta \alpha_1, \Delta \alpha_2$  являются взаимонезависимыми случайными величинами, переходя к соответствующим дисперсиям погрешностей, получим:

$$\sigma_x^2 = (k_{xx_1} \cdot \sigma_{x_1})^2 + (k_{xx_2} \cdot \sigma_{x_2})^2 + (k_{xy_1} \cdot \sigma_{y_1})^2 + (k_{xy_2} \cdot \sigma_{y_2})^2 + (k_{x\alpha_1} \cdot \sigma_{\alpha_1})^2 + (k_{x\alpha_2} \cdot \sigma_{\alpha_2})^2 \quad (6)$$

где  $\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \sigma_{y_1}$  и  $\sigma_{y_2}$  — среднеквадратические значения погрешностей определения координат базовых станций;  $\sigma_{\alpha_1}$  и  $\sigma_{\alpha_2}$  — среднеквадратические значения погрешностей определения азимутальных углов; коэффициенты  $k_{xx_1}, k_{xx_2}, k_{xy_1}, k_{xy_2}, k_{x\alpha_1}$  и  $k_{x\alpha_2}$  определяются частными производными относительно истинных значений координат базовых станций и азимутальных углов:

$$\begin{aligned} k_{xx_1} &= \frac{\partial x}{\partial x_1|_{x_1=x_{1\text{ист}}}} = \frac{tg\alpha_{1\text{ист}}}{tg\alpha_{1\text{ист}} - tg\alpha_{2\text{ист}}}; \\ k_{xx_2} &= \frac{\partial x}{\partial x_2|_{x_2=x_{2\text{ист}}}} = -\frac{tg\alpha_{2\text{ист}}}{tg\alpha_{1\text{ист}} - tg\alpha_{2\text{ист}}}; \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
k_{xy_1} &= \frac{\partial x}{\partial y_1 | y_1=y_1 \text{ ист}} = -\frac{1}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{xy_2} &= \frac{\partial x}{\partial y_2 | y_2=y_2 \text{ ист}} = \frac{1}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{x\alpha_1} &= \frac{\partial x}{\partial \alpha_1 | \alpha_1=\alpha_1 \text{ ист}} = \frac{x_{1 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1)}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} + \frac{(tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1) \cdot (y_{1 \text{ ист}} - y_{2 \text{ ист}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} + x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}})}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{x\alpha_2} &= \frac{\partial x}{\partial \alpha_2 | \alpha_2=\alpha_2 \text{ ист}} = \frac{x_{2 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1)}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} - \frac{(tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}} + 1) \cdot (y_{1 \text{ ист}} - y_{2 \text{ ист}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} + x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}})}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}}}.
\end{aligned}$$

Для определения дисперсии  $\sigma_y^2$  погрешности определения координаты местоположения объекта по оси ОУ воспользуемся выражением (5). Проведя аналогичные операции, как и для определения дисперсии  $\sigma_x^2$ , получим:

$$\sigma_y^2 = (k_{yx_1} \cdot \sigma_{x_1})^2 + (k_{yx_2} \cdot \sigma_{x_2})^2 + (k_{yy_1} \cdot \sigma_{y_1})^2 + (k_{yy_2} \cdot \sigma_{y_2})^2 + (k_{y\alpha_1} \cdot \sigma_{\alpha_1})^2 + (k_{y\alpha_2} \cdot \sigma_{\alpha_2})^2 \quad (7)$$

где коэффициенты  $k_{yx_1}$ ,  $k_{yx_2}$ ,  $k_{yy_1}$ ,  $k_{yy_2}$ ,  $k_{y\alpha_1}$  и  $k_{y\alpha_2}$  имеют вид:

$$\begin{aligned}
k_{yx_1} &= \frac{\partial y}{\partial x_1 | x_1=x_1 \text{ ист}} = \frac{tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}}}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} - tg \alpha_{1 \text{ ист}}; \\
k_{yx_2} &= \frac{\partial y}{\partial x_2 | x_2=x_2 \text{ ист}} = -\frac{tg \alpha_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}}}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{yy_1} &= \frac{\partial y}{\partial y_1 | y_1=y_1 \text{ ист}} = 1 - \frac{tg \alpha_{1 \text{ ист}}}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{yy_2} &= \frac{\partial y}{\partial y_2 | y_2=y_2 \text{ ист}} = \frac{tg \alpha_{1 \text{ ист}}}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{y\alpha_1} &= \frac{\partial y}{\partial \alpha_1 | \alpha_1=\alpha_1 \text{ ист}} = \\
&= \frac{x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1)}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} - \frac{(tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1) \cdot (y_{1 \text{ ист}} - y_{2 \text{ ист}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} + x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}})}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot \\
&\cdot (tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1) + \frac{tg \alpha_{1 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{1 \text{ ист}} + 1) \cdot (y_{1 \text{ ист}} - y_{2 \text{ ист}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} + x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}})}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}}}; \\
k_{y\alpha_2} &= \frac{\partial y}{\partial \alpha_2 | \alpha_2=\alpha_2 \text{ ист}} = \\
&= -\frac{x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}} + 1)}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg \alpha_{2 \text{ ист}}} - \frac{tg \alpha_{1 \text{ ист}} \cdot (tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}} + 1) \cdot (y_{1 \text{ ист}} - y_{2 \text{ ист}} - x_{1 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{1 \text{ ист}} + x_{2 \text{ ист}} \cdot tg \alpha_{2 \text{ ист}})}{tg \alpha_{1 \text{ ист}} - tg^2 \alpha_{2 \text{ ист}}}.
\end{aligned}$$

Вычисление среднеквадратических значений погрешностей определения координат местоположения объекта, согласно (6), (7), для определения среднеквадратического значения радиальной погрешности проводилось компьютерным моделированием с помощью пакета прикладных программ MatLAB. При вычислениях предполагалось что:

- среднеквадратические значения погрешностей определения координат базовых станций могут иметь значения 3, 5 и 10 м;
  - значение разности углов азимута  $\Delta\alpha = (\alpha_1 - \alpha_2)$  может находиться в пределах  $(30^\circ \div 150^\circ)$ ;
  - ширина ДН приемных антенн может иметь значения:  $\theta_1 = \theta_2 = 10^\circ$ ;  $\theta_1 = \theta_2 = 20^\circ$ ;  $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$ .
- Для выбранных значений ширины ДН антенн среднеквадратические значения погрешностей определения азимутных углов соответственно равны  $\sigma_{10^\circ} = 5 \text{ м}$ ,  $\sigma_{20^\circ} = 15 \text{ м}$  и  $\sigma_{30^\circ} = 230 \text{ м}$  [7].

Результаты моделирования представлены на рисунках 2–4.

На рис. 2 представлены зависимости среднеквадратического значения радиальной погрешности определения местоположения объекта от разности углов азимута  $\Delta\alpha = (\alpha_1 - \alpha_2)$  для трех среднеквадратических значений погрешностей определения координат базовых станций:  $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = 3 \text{ м}$ ,  $\sigma_{y_1} = \sigma_{y_2} = 3 \text{ м}$  — кривая 1;  $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = 5 \text{ м}$ ,  $\sigma_{y_1} = \sigma_{y_2} = 5 \text{ м}$  — кривая 2;  $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = 10 \text{ м}$ ,  $\sigma_{y_1} = \sigma_{y_2} = 10 \text{ м}$  — кривая 3. Расчеты выполнены для случая, когда ширина диаграммы направленности антенны равна  $\theta = 10^\circ$  ( $\sigma_{10^\circ} = 5 \text{ м}$ ).

На рис. 3 и рис. 4 представлены те же самые зависимости для ширины диаграммы направленности антенны  $\theta = 20^\circ$  ( $\sigma_{20^\circ} = 15 \text{ м}$ ) и ширины диаграммы направленности антенны  $\theta = 30^\circ$  ( $\sigma_{30^\circ} = 230 \text{ м}$ ), соответственно.

Как видно из зависимостей, приведенных на рис. 1 — рис. 3, максимальная точность определения координат местоположения подвижного наземного объекта достигается при разности углов азимута  $90^\circ$ , что полностью совпадает с теорией. При этом следует отметить, что имеется достаточно большой диапазон отклонения от разности углов азимута  $90^\circ$ , в котором точность определения координат местоположения подвижного наземного объекта сохраняется почти постоянной. Кроме того точность позиционирования возрастает с ростом точности установки базовых станций на местности и уменьшением ширины диаграммы направленности антенн. При точности установки базовых станций на местности 3 м и применении узконаправленных антенн с шириной ДН  $\theta = 10^\circ$  среднеквадратическое значение радиальной погрешности определения местоположения объекта имеет минимальную величину порядка 20 м, а при ширине

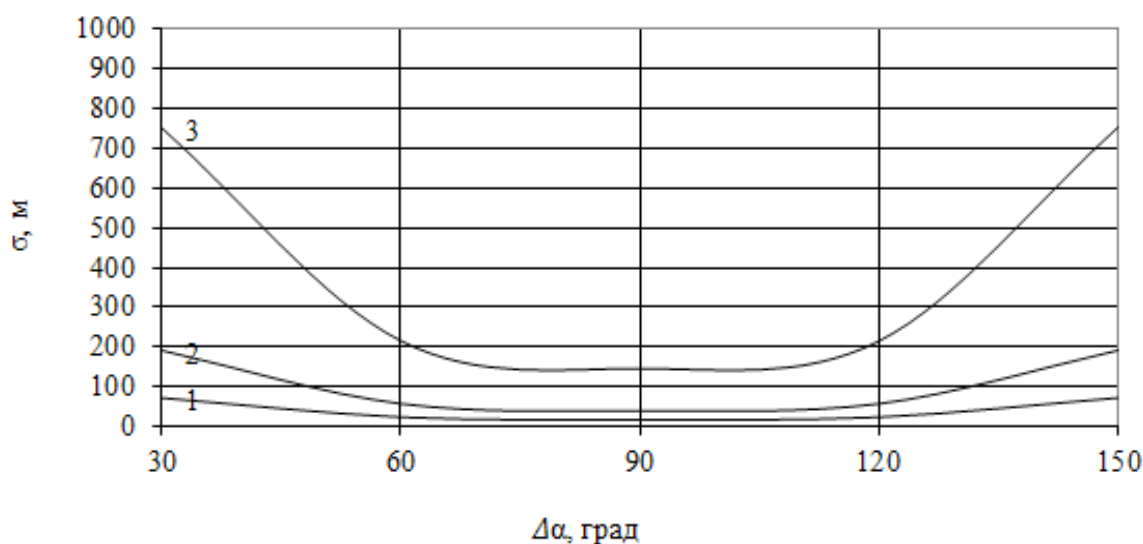


Рис. 2

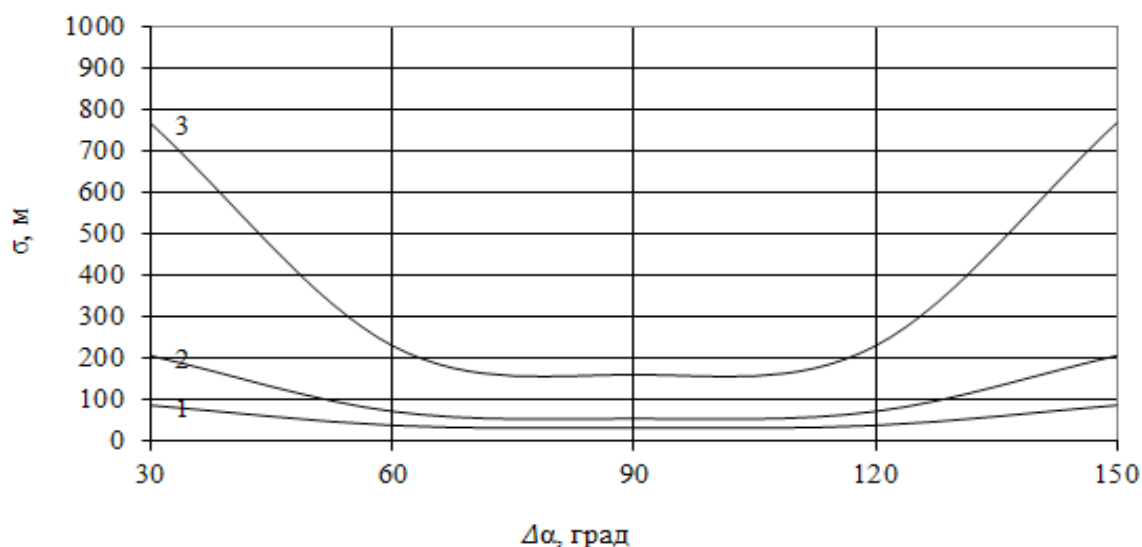


Рис. 3

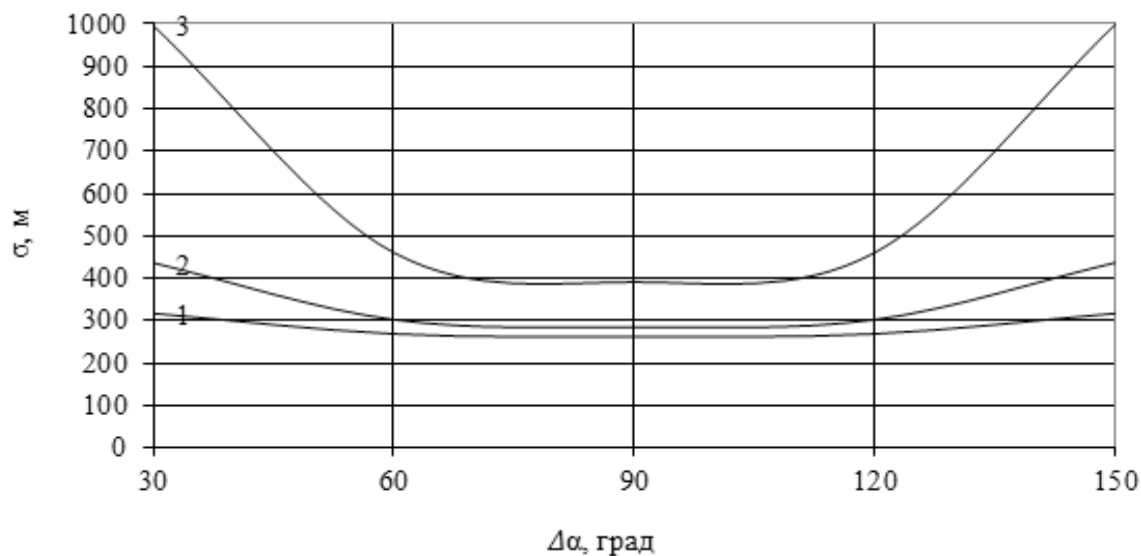


Рис. 4

ДН  $\theta = 30^\circ$  радиальная погрешность составляет 150 м. Данные значения сопоставимы с методами определения координат местоположения в сетях GSM (TOA, E-OTD), что позволяет применить данный метод на практике.

Так как в данном случае нет необходимости делать запросы на базовые станции, в отличие от приведенных выше методов, то можно вычислять свое местоположение с достаточно малым интервалом времени, что дает возможность использовать данную технологию для подвижных наземных объектов.

#### Литература:

1. Иванов А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 5.
2. Иванов А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 12.
3. Иванов А. В. Навигационные системы подвижных наземных объектов. Алгоритмы обработки информации в угловом канале / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2013, № 4.
4. Иванов А. В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов [Текст] / А. В. Иванов, А. В. Гостев, А. А. Семенов, Л. В. Соколовская // Радиотехника. — 2012. — № 4. — с. 4–10.
5. Ю. А. Громаков, А. В. Северин, В. А. Швецов Технологии определения местоположения в GSM и UMTS: Учеб. пособие. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 144 с.
6. М. А. Дубинин Нахождение точки пересечения двух линий по углам и двум известным точкам (биангуляция) [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/biangulation.html>.
7. Белавин О. В. Основы радионавигации: Учебное пособие для вузов. — М.: Сов. радио, 1977. — 320 с.

## Согласование на тракте измерительной установки с открытым резонатором в диапазоне 78–118 ГГц

Нонг Куок Куанг, аспирант

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет

### 1. Введение

С развитием электроники и вычислительной технологии, в настоящее время использование сверхвысокочастотных (СВЧ) аппаратов с компьютерным вычислением становится много более легким и популярным. В области исследования свойств материалов, в том числе диэлектриков, открытый резонатор (ОР) на СВЧ диапазоне применяется с помощью скалярного анализатора цепей P2M, подключенного с компьютером. Однако в СВЧ диапазоне, несогласование часто происходит при соединении элементов измерительных трактов. В данной работе исследовано несогласование волноводного детектора со скалярным анализатором.

**2. Исследование свойств открытого резонатора на СВЧ диапазоне** было проведено в 60-ых годах с интерферометром Фабри-Перо. Установка ОР оказана удобным измерительным инструментом с высокой точностью для определения диэлектрических свойств малопоглощающих материалов на миллиметровом диапазоне [1–2]. Используя теорию Гаусовских пучков, Cullen и Yu анализировали систему ОР и измеряли комплексную проницаемость диэлектриков в виде плоской пластинки [3].

При рассмотрении распределения амплитуды и фазы первоначально плоской волны с её многократными последовательными прохождениями через резонатор, Американские исследователи А. Фокса и Т. Ли в 1960–1961 гг. предоставили наглядную картину формирования собственных мод открытого резонатора. С анализом множества результатов, получаемых для открытых резонаторов типа интерферометра Фабри-Перо (прямоугольные плоские зеркала, круглые плоские зеркала), а также для конфокальных сферических и параболических зеркал, в своей работе Фокса и Ли описали несколько свойств резонаторов как:

Открытые резонаторы характеризуются дискретным набором колебательных мод. Кроме этого, однородные плоские волны не являются нормальными модами открытых резонаторов

Электромагнитные волны, которые распространяются в пространстве между зеркалами, являются ТЕМ волнами. Эти типы волн соответствуют собственным модам резонатора, почти полностью поперечны. Моды более высокого порядка имеют более высокие дифракционные потери, чем основная мода.

Для основной моды амплитуда поля сильно уменьшается к краям зеркала. Поэтому её дифракционные потери, которые много меньше предсказываемых на основе пред-

ставления об однородных плоских волнах и в реальных ситуациях, пренебрежимо малы.

Известный вариант открытого резонатора является двухзеркальным вогнутым резонатором. В сантиметровом диапазоне электромагнитных волн, он считается высокодобротным квазиоптическим. Данный резонатор образуется круглыми вогнутыми зеркалами, расположенными вдоль полярной оси, одно против другого. Два зеркала имеют одинаковые параметры с радиусом  $R_{зсп}$ . Расстояние между отражателями (зеркалами) больше радиуса кривизны  $2L_0 < 2R_{зсп}$ . В объеме резонатора возможны стоячие волны если размеры резонатора и длина волны, распространяющейся в пустой части резонатора, удовлетворяются условиям [3]:

$$\frac{2L_0}{\lambda/2} = q + \frac{2}{\pi} (m + 2n - 1) \arcsin \sqrt{\frac{L_0}{R_{зсп}}}$$

( $q$  — целое число,  $q \gg 1$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$ , а  $n = 1, 2, \dots$ )

Спектр резонансных частот основного колебания  $TEM_{00q}$  пустого резонатора [4] определяется как

$$f_0 = \frac{c}{4L_0\sqrt{\epsilon_0}} \left[ q + \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{L_0}{R_0 - L_0}} \right],$$

Где  $R_0$  — радиус кривизны зеркал,  $2L_0$  — расстояниями между центрами зеркал,  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость окружающей среды, в этом случае воздух.

### 3. Схема установки

Установка 78.33–118.1 ГГц включает в себя: персональный компьютер, измеритель модуля коэффициентов отражения и передачи P2M-18, усилитель мощности, два последовательно соединенных умножителя частоты на 3, измерительный двухзеркальный ОР, поляризационный аттенуатор АП-20 и полупроводниковый детектор КДВ-118. Измерительный тракт собран на основе прямоугольного волновода сечением 2,4 x 1,2 мм. Измеритель P2M-18 используется как синтезатор частоты в диапазоне 12–20 ГГц и интерфейс между детектором и компьютером.

СВЧ сигналы, получаемые из анализатора, поступают в умножители частот. Излучательный рупор подключен к двум умножителям частот с коэффициентом умножения на 2 и 3, между которых помещается усилитель мощности.

Резонатор с двумя зеркалами показан на рисунке. Часть волны проходит к противоположному рупору, остальная часть отражается пленкой и создается явление стоячих

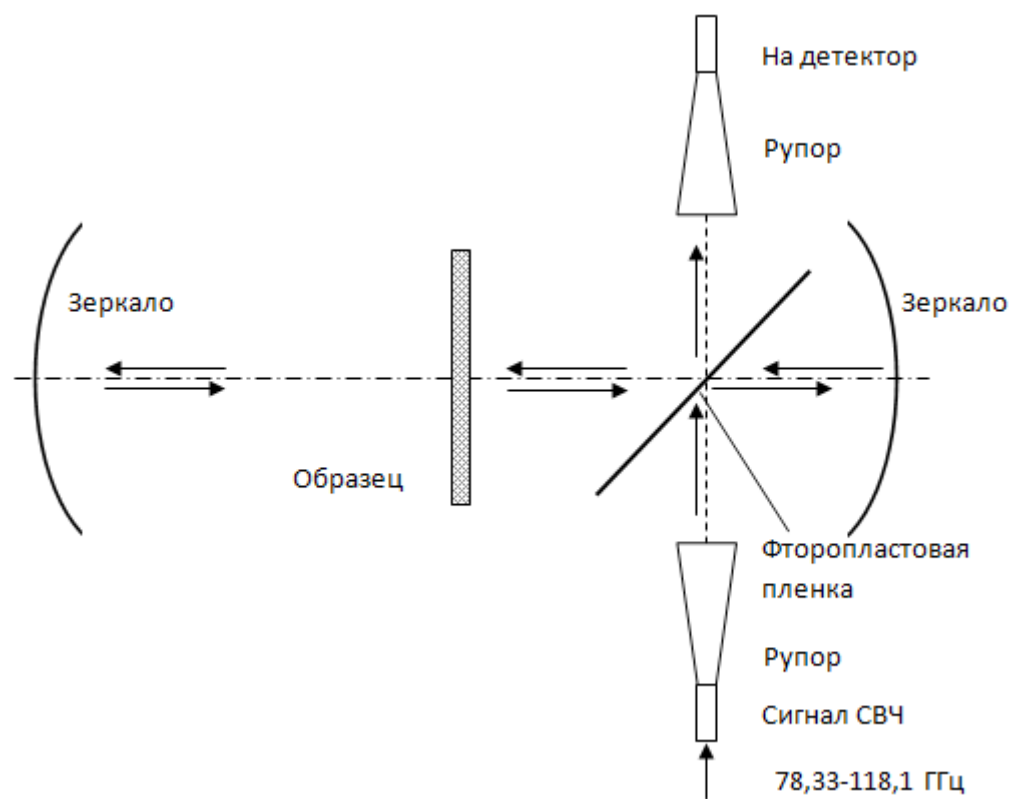


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки в диапазоне частот от 78,33 ГГц до 118,1 ГГц

волн между зеркалами. Полученные волны принимаются приемным рупором и вступают в детектор.

4. **Согласование работы детектора с анализатором**

4.1. Волноводный детектор КДВ 78,33–118,1 ГГц, поляризационный аттенуатор АП 20 и параметры анализатора Р2М-18

Низкобарьерные широкополосные детекторы КДВ 78,33–118,1 ГГц применяются в качестве датчиков мощности и для специальных целей. Используются в системе автоматической регулировки мощности, в генераторах сигналов и синтезаторах частот, в приемных устройствах для выделения низкочастотной огибающей высокочастотного сигнала, в панорамных и импульсных измерениях.



Рис. 2. Волноводный детектор КДВ 78,33–118,1 ГГц

Таблица 1  
Параметры детектора КДВ 78,33–118,1 ГГц

Тип детек- тора	Диапазон ча- стот, ГГц	Входной вол- новод, мм	Чувствительность по напряжению, при $P_{вх} = -20$ дБм, мВ/мВт:		Типичное со- противление нагрузки, МОм	Максимальная входная мощ- ность, дБм
			Типич.	Минималь.		
КДВ-118	78,33–118,1	2,4x1,2	1500	700	1	14





Рис. 3. Поляризационный аттенюатор АП 20

Поляризационный аттенюатор АП 20 предназначен для калиброванного изменения ослабления СВЧ-сигнала в волноводных трактах миллиметрового диапазона волн в условиях цехов, лабораторий и поверочных центров. Прибор соответствует требованиям ГОСТ 22261–82 в части метрологических характеристик. Прямоотсчетные аттенюаторы серии DAXXR являются аттенюаторами поляризационного типа, величина ослабления зависит от угла поворота резистивной пластины. Конструкция прибора обеспечивает минимальную частотную зависимость характеристик аттенюатора. Аттенюаторы АП20 работают в диапазоне частот от 78,33 до 118,1 ГГц. Малые изменения фазового сдвига, низкий КСВН, малые потери и высокая точность установки ослабления обеспечивают точные измерения в миллиметровом диапазоне длин волн.

Скалярный анализатор Р2М-18 **назначается для** Разработки, настройки и производство пассивных и активных СВЧ устройств в коаксиальном тракте: фильтров, диплексеров, аттенюаторов, делителей мощности, кабельных сборок, усилителей, смесителей, умножителей, делителей частоты и т. д. В данной работе анализатор Р2М-18 работает в режиме измерения измерения модуля коэффициента передачи.

#### 4.2. Характеристика детектора

При исследовании спектра резонансов на широком диапазоне частот от 78 до 118 ГГц, начальные результаты измерения добротностей и резонансных частот оказываются

нестабильными [5]. Во-первых, причины заключаются в том, что измерительные среды открыты или неизолированы. В комнатном условии, параметры среды, например, влажность, температура и давление воздуха не только влияют на габаритные размеры резонатора, но и энергетический процесс, происходящий во время измерений. Во-вторых, несогласование в измерительном тракте действует на отображаемые компьютером результаты, в том числе несогласование детектора со скалярным анализатором.

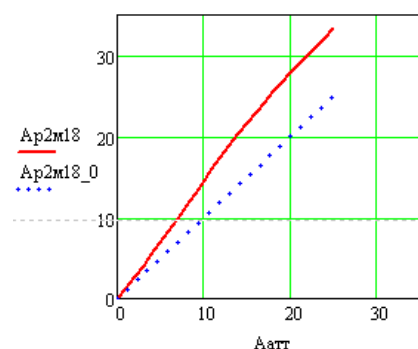


Рис. 4. Характеристика детектора КДВ-118 по сравнению с анализатором Р2М

Простая проверка характеристики детектора осуществлена путем измерения коэффициентов передачи тракта (без резонатора) с разными уровнями поглощения

Таблица 2

Параметры поляризационного аттенюатора АП 20

Точность установки ослабления	$\pm 0.2\text{дБ}$ для $A=0 \div 10\text{дБ}$ ; $\pm 0.02 \cdot A$ для $A=10 \div 50\text{дБ}$ ; $\pm [1 + 0.08 \cdot (A - 50)]\text{дБ}$ для $A=50 \div 60\text{дБ}$
Диапазон ослаблений	$0 \div 60\text{ дБ}$
Максимально допустимая входная мощность	0.1 Вт (среднее значение)
Размеры волновода	2,4x1,2

Таблица 3

Параметры скалярного анализатора Р2М-18

Параметр	Р2М-18А
Диапазон рабочих частот	10 МГц... 20 ГГц
Дискретность установки частоты, Гц	1
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты	$\pm 1 \times 10^{-6}$
Дискретность установки мощности, дБ	0,1
Пределы допускаемой погрешности установки уровня выходной мощности, дБ (в пределах)	$\pm 1,5$ (-55...-20) $\pm 1,0$ (-20...+13)
Диапазон измерения мощности, дБм	-55... +13
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи, дБ	$\pm (0,02 \times  A  + 0,2)$
Пределы допускаемой погрешности измерений мощности, дБ	$\pm 1,0$

Примечание: А — измеренные значения модуля коэффициента передачи.

и сравнивать получаемые результаты с отображаемыми программой значениями.

На рисунке 4 показана характеристика детектора КДВ-118 при работе с Р2М. Точечная линия иллюстрирует идеальные результаты согласования, в котором каждое добавленное значение в поглощение аттенуатором соответствует, или можно сказать, равно значению, отображаемому программой скалярного анализатора Р2М. Практическая характеристика изображается непрерывной, сплошной линией.

Чтобы защищать работу детектора, нагрузка поставлена; однако искажение АЧХ и несогласование детектор — анализатора не устраняются. Поляризационный аттенуатор используется для поглощения энергии, следовательно влияние явления переотражения между приемным рупором и детектором уменьшается. В начале поляризация делительной пленки фиксируется, например, пленка поляризуется перпендикулярно поверхностного

электрического поля в центр резонатора. Поглощение добавляется аттенуатором степенно на 1,25дБ; 3дБ; 6дБ; 9дБ; 12дБ; в каждом случае калибруем процесс измерения коэффициента передачи и запишем добротности резонанса на разных уровнях поглощения.

В таблице 4 представляются результаты измерения резонансных частот и добротностей соответственно.

По нумерации от 1 до 6 выражены значения частот резонансов и добротностей в процессе добавления поглощения постепенно. Остальные результаты соответствуют уменьшению поглощения аттенуатором. Между 6-ой и 7-ой результатами, резонатор был настроен (пленка реализована) и программа Р2М Graphit была калибруема.

По графикам замечается, что при работе с аттенуатором, добротности заметно увеличиваются. В обратном процессе при снятии поглощения аттенуатором, добротность ОР становится больше и более стабильной.

Таблица 4

Резонансные частоты и их добротности на разных уровнях поглощения

№	$f_{\perp}(\text{ГГц})$	$Q_{\perp}$	$f_{\parallel}(\text{ГГц})$	$Q_{\parallel}$	Поглощение (дБ)
1	81.394851	151300	81.394081	145500	0
2	81.394850	151145	81.394086	141690	1.25
3	81.394912	147800	81.394094	147300	3
4	81.394915	148000	81.394122	141180	6
5	81.394900	144700	81.394122	159460	9
6	81.394884	163000	81.394123	156732	12
7	81.394877	163900	81.394174	159290	12
8	81.394896	164000	81.394201	163400	9
9	81.394849	164000	81.394177	166250	6
10	81.394851	167000	81.394169	167500	3
11	81.394853	165400	81.394186	169000	1.25
12	81.394853	164900	81.394175	168000	0

(Обозначения  $\perp$  и  $\parallel$  соответствуют перпендикулярной и параллельной поляризациям пленки)

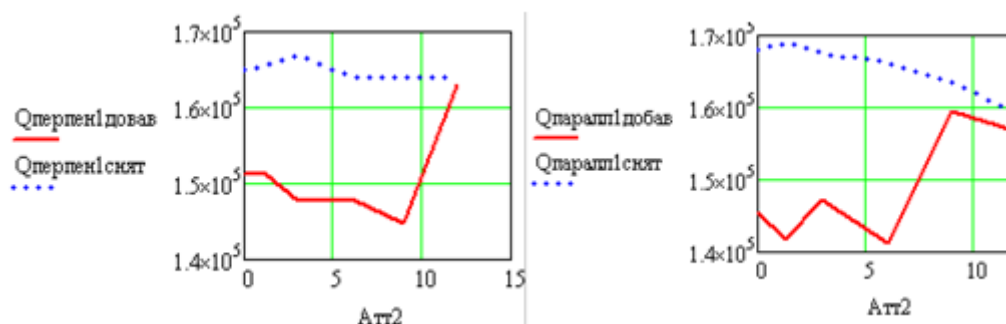


Рис. 5. Зависимости добротностей резонанса от степеней поглощения аттенюатора при перпендикулярной (левый график) и параллельной (правый график) поляризациях пленки

## 5. Заключение

Детектор не согласуется с анализатором P2M-18 и следовательно происходит искажение резонансных кривых при использовании приложенной программы анализатора.

Устранение несогласования предлагается помещением аттенюатора поглощения, в результате которого доброт-

ности резонансных частот улучшаются со стабильностью. Возможен использоваться полученный спектр резонансных частот пустого открытого резонатора в широком диапазоне для исследования поглощения в атмосфере, зависимостей результатов измерений от элементов тракта, свойств пленки-отражателя, диаметра зеркал и расстояние между ними.

## Литература:

1. Jones R. G.: Precise dielectric measurements at 35 GHz using an open microwave resonator. Proc. IEE 123, 1976, № 4, pp.285–290.
2. Lynch A. C.: Measurement of permittivity by means of an open resonator, II. Experimental, Proc. Roy. Soc. London A380, 1982, pp.73–76.
3. L. Cullen and P. K. Yu, «The accurate measurement of permittivity by means of an open resonator,» Proc Royal Soc. London, Ser. A., vol. 325, pp. 493–509, 1971.
4. Егоров В. Н. Резонансные методы исследования диэлектриков на СВЧ//ПТЭ, 2007, № 2, С. 5–38.
5. Нонг Куок Куанг. Измерение свойств диэлектриков в открытом резонаторе на частотах от 95 до 176 ГГц. Вестник ИрГТУ, 2013, № 3, с. 95–99..

## Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения

Сурков Владимир Олегович, аспирант

Тамбовский государственный технический университет

Обычно под термином навигационная система принято понимать совокупность приборов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих произвести ориентирование объекта в пространстве. Навигационные системы можно разделить на множество категорий в зависимости от назначения, объема получаемой навигационной информации и используемых методов навигации. Система навигации подвижных наземных объектов (ПНО) решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и обеспечивает выдачу следующих данных: координаты местоположения в заданной системе

координат, вектор скорости, углы ориентации (крен, курс, тангаж), вектор угловой скорости, вектор ускорения.

Точностные характеристики систем навигации для ПНО зависят от режима работы, состава данных систем и программного обеспечения применяемого для обработки информации.

Минимально необходимый набор датчиков, который обеспечивает пользователя базовой информацией о его местоположении, включает в себя курсовую систему магнитного или гироскопического типа и датчик скорости. Данный состав был широко распространен на начальных этапах построения навигационных систем. Основным не-

достатком такой компоновки навигационной системы является значительное увеличение погрешностей в определении местоположения с течением времени, поэтому требуется применение радиотехнических систем коррекции (системы сотовой связи, радиотехнические системы дальней навигации (спутниковые радионавигационные системы (СРНС) (ГЛОНАСС/GPS), системы «Чайка» и «LORAN-C»).

Навигационные системы ПНО включают в свой состав:

1. Измерители автономной системы;
2. Радиотехнические системы коррекции;
3. Вычислительное устройство;
4. Устройство индикации.

Основными для навигационных систем являются следующие режимы работы: автономный и автономный с коррекцией от СРНС. Наиболее подходящим режимом работы является автономный с коррекцией от СРНС (инерциальная навигационная система + спутниковая радионавигационная система) [1].

Однако, применение СРНС затруднительно в густо застроенных городских кварталах, карьерах, подземных парковках, поэтому в данных условиях целесообразно применение систем сотовой связи для повышения точности позиционирования. В зависимости от применяемой технологии позиционирования и стандарта сотовой сети возможно получение значений точности от 16 до 50 м. [2]. Применение систем сотовой связи в комбинации с СРНС не дает значительного уменьшения погрешностей пози-

ционирования. По причине того, что значения погрешностей, полученные при применении данных технологий в 10–100 раз больше, чем значения, полученные при применении спутниковых радионавигационных систем. Это проиллюстрировано в статье [3] и приведены соответствующие значения погрешностей при проведении моделирования. Применение систем сотовой связи в навигационных системах целесообразно лишь при пропадании сигналов от СРНС посредством использования адаптивных алгоритмов обработки информации в ЭВМ навигационной системы.

Наиболее перспективным для навигационных систем ПНО можно считать следующий состав [4], представленный на рисунке 1.

В качестве дополнительных возможно применение таких датчиков, как барометрический высотомер который позволяет обеспечить целостность информации СРНС [5], доплеровский измеритель скорости, механический датчик скорости и т. д. Введение дополнительных датчиков возможно при более жестких требованиях к данным системам.

Представленный на рисунке 1 состав навигационной системы в настоящее время не применяется. Наиболее близкими по составу являются системы следующих производителей: ООО «ТеКнол», Концерн «Созвездие», ОАО НВП «ПРОТЕК».

Точность и эффективность работы навигационных систем (НС) зависит так же от их целостности. Для обеспечения целостности в основном применяется обнаружение отказавших элементов, исключение их из структуры и вос-



Рис. 1. Наиболее перспективный состав системы навигации для ПНО

становление работоспособности НС путем аппаратурной или информационной реконфигурации [6].

Контроль целостности НС можно производить как при первичной, так и при вторичной обработке информации в навигационных комплексах. Под первичной обработкой информации в НС понимают поиск, обнаружение, селекцию, преобразование и усиление входных сигналов измерителей для определения параметров. При первичной обработке информации контроль производится в НС имеющих несколько уровней иерархии и содержащих бортовую вычислительную систему (БВС), способную обеспечить внутреннюю реконфигурацию структуры информационной системы при решении различных задач и в случаях отказов или повреждений ее отдельных устройств и систем [7]. Основная особенность контроля целостности в данном случае — это сложность и громоздкость вычислений из-за нелинейного вида векторов состояния и наблюдения, используемого при разработке алгоритмов обработки информации.

Под вторичной обработкой информации понимают выполняемую в специализированных вычислителях или бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ) обработку выходных сигналов измерителей для определения навигационных элементов. Алгоритмы контроля при вторичной обработке применяются только к отдельным элементам НС и основаны на использовании нейросетевых методов [8,9] и нелинейной многоальтернативной фильтрации, предполагающей использование банка фильтров Калмана.

Так как в настоящее время в навигационных системах при вторичной обработке информации применяются опти-

мальные алгоритмы оценивания, базирующиеся на дифференциальных или разностных уравнениях, полученных на основе методов калмановской фильтрации, то разработка адаптивных алгоритмов обработки информации должна производиться с использованием метода реконфигурации, суть которого состоит в том, что контролируемый сигнал проходит через банк фильтров (моделей), каждый из которых основан на своей определенной гипотезе относительно характера возможных изменений. Решающий механизм по сути основан на отыскании того фильтра, на выходе которого обновления минимальны, а вероятность соответствующей гипотезы максимальна [10]. В качестве банка фильтров будет использоваться банк фильтров Калмана.

Таким образом, можно выделить следующие направления в развитии НС для ПНО:

1. Совершенствование устройств и систем, входящих в систему навигации для ПНО. Данное направление реализовано в создании систем с более чувствительными элементами (лазерный и волоконно-оптический гироскопы, кварцевые акселерометры), которые повышают точность работы систем навигации, как в автономном, так и в режиме коррекции от СРНС;

2. Внедрение нового программного обеспечения — создание алгоритмов обработки информации, основанных на фильтре Калмана-Бьюси [11, 12] и адаптивных алгоритмов, основанных на применении банка фильтров Калмана-Бьюси;

3. Введение новых устройств и систем. Это достигается за счет интеграции комплексов с системами сотовой связи, что позволяет увеличить точность местоопределения и устранить «мертвые зоны».

#### Литература:

1. Сурков В. О. Навигационные системы подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Магистратура ТГТУ. — 2012. — № 27. — С. 105–109.
2. Сурков В. О. Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — С. 147–150.
3. Иванов А. В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов / Иванов А. В., Гостев А. В., Семенов А. А., Соколовская Л. В. / Радиотехника. — Москва, № 4, с. 16–19.
4. Сурков В. О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности / В. О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — С. 20–24.
5. Иванов, А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А. В. Иванов. — 2011 // Радиотехника /. — 2010. — N 12. — С. 15–25.
6. Дмитриев С. П., Колесов Н. В., Осипов А. В. Информационная надежность, контроль и диагностирование навигационных систем. — СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2003 г., 207 С
7. Бунин А. В. Алгоритмы совместного обнаружения и оценивания сигналов спутниковых радионавигационных систем в навигационно-посадочном комплексе / А. В. Бунин, А. В. Иванов // Сборник НТМ / Тамбовский ВАИИ. — 2002. — № 15. — С. 35–45.
8. Деева А. С. Контроль и диагностика избыточной инерциальной навигационной системы / А.С Деева, А.Г Щипицын //Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2007. — Вып. 5, № 7 (79). — С. 12–17.



9. Деева А. С. Методы контроля и диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем / А.С. Деева, А.Г. Щипицын // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2010. — Вып. 11, № 2. — С. 12–17.
10. Бассвиль М., Вилски А., Банвенист А. и др. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем. М.: Мир, 1989.
11. Иванов А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 5.
12. Иванов А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 12.

## Физиотерапевтический прибор

Шибеко Роман Владимирович, старший преподаватель;  
Терещенко Александра Владимировна, студент  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

*Описывается физиотерапевтический прибор, предназначенный для профилактики и лечения болезней позвоночника. Отличительная особенность спроектированного устройства заключается в совмещении процедур магнитотерапии и лекарственного электрофореза, а также совмещение резкоизменяющихся воздействий, что является очень эффективным фактором.*

**Ключевые слова:** физиотерапия, медицина, позвоночник, медицинская электроника, магнитотерапия, электрофорез.

Непременным атрибутом каждой современной больницы является физиотерапевтический кабинет, которому отводится важная, но второстепенная роль в процессе лечения. Этот стереотип в связи с развитием техники постепенно ломается, поскольку вся история человечества доказывает первостепенное значение воздействия на организм человека физических факторов, как на системном, так и на клеточном уровне.

В практической медицине известен факт о более глубоком положительном эффекте физиопроцедур при резкой смене режимом их проведения. Также положительным признается факт объединения воздействия на организм человека факторов различной физической природы.

Физические факторы окружающей среды сыграли и играют важную роль в создании и поддержании жизни на Земле. Они являются неотъемлемыми компонентами экологической системы и, гармонизируя между собой, благотворно воздействуют на живые организмы вообще и человека в частности. С глубокой древности самыми доступными методами были и остаются солнечные ванны, массаж, водо- и грязелечение, лечение теплом, а также магнитным полем (прикладывание магнитной руды к больному месту), которые сохраняют свою актуальность и в далеком будущем для лечения и профилактики различных заболеваний.

Физиотерапевтические аппараты сегодня привлекают к себе большое внимание тем, что, обладая высокой эффективностью при лечении многих заболеваний, по-

зволяют обеспечить избирательное воздействие именно на «больное место», при этом уменьшая количество применяемых препаратов, в том числе инъекционных. Это значительно снижает вероятность возникновения аллергии и лекарственной болезни, что особенно актуально не только для людей пожилого возраста, которым из-за «букета болячек» очень сложно подобрать необходимую лекарственную терапию, имеющую множество противопоказаний, но и для молодых людей и даже детей.

При проведении физиотерапевтических процедур в области их локального воздействия возникают мягкие безболезненные лечебные эффекты без побочных действий на другие органы и ткани. За счет этого сокращается длительность лечения различных болезней, резко уменьшается вероятность появления обострений хронических заболеваний вплоть до полного их исчезновения при своевременно проведенном профилактическом лечении.

Каждый пациент, побывавший на лечении в физиотерапевтическом кабинете, видел большие аппараты с множеством ручек и лампочек, и глядя на все это и тем более, почувствовав на себе действие различных насадок, испытывал к ним невольное уважение.

Современное развитие науки и техники, новейшие исследования влияние физических факторов на человека позволили создать портативные аппараты, вобравшие в себя все самое лучшее от своих громоздких «родителей», и даже превзойти их в лечебном эффекте.

При этом удалось упростить не только проведение процедур, но и свести к минимуму количество противопоказаний и побочных эффектов, что предопределило возможность проведения физиолечения в домашних условиях. Сейчас домашний физиокабинет — это не мечта, а реальность.

Ниже описывается проект физиотерапевтического прибора для лечения болезней позвоночника, которые очень распространены в современном обществе. Прибор совмещает две функции: электрофорез и магнитное воздействие. Воздействующая на организм человека часть представляет собой прямоугольный блок, который помещается на кушетку и положение которого может меняться. В блок вмонтированы два электрода расположенные на расстоянии 15 см друг от друга, шириной 5 см и длиной 10 см. Пластины находятся на пружинном основании и при надавливании они уходят в углубление. Поверх пластины можно помещать ткани, смоченные в лекарственных растворах. Между пластинами помещены пять вмонтированных катушек. Максимальный ток проходящий через пластины 30 мА; напряжение не более 25 В, магнитное поле создаваемое каждой катушкой лежит в пределах  $40 \pm 5$  мТл.

Существует два режима работы электрофореза:

1) Режим постоянного тока, при котором половину заданного времени на одном электроде положительный потенциал, а на другом отрицательный, другую половину полярность меняется;

2) Импульсно-переменный ток. На электроды подается пачки прямоугольных двуполярных импульсов, частота колебания пачки 5 кГц, длительность пачки 0.5 сек., пауза 1 сек. При проведении процедуры электрофореза амплитуда сигналов регулируется.

Существует два режима магнитотерапии:

1) Переменное поле. Переменный ток с частотой 5 кГц одновременно подается на все катушки;

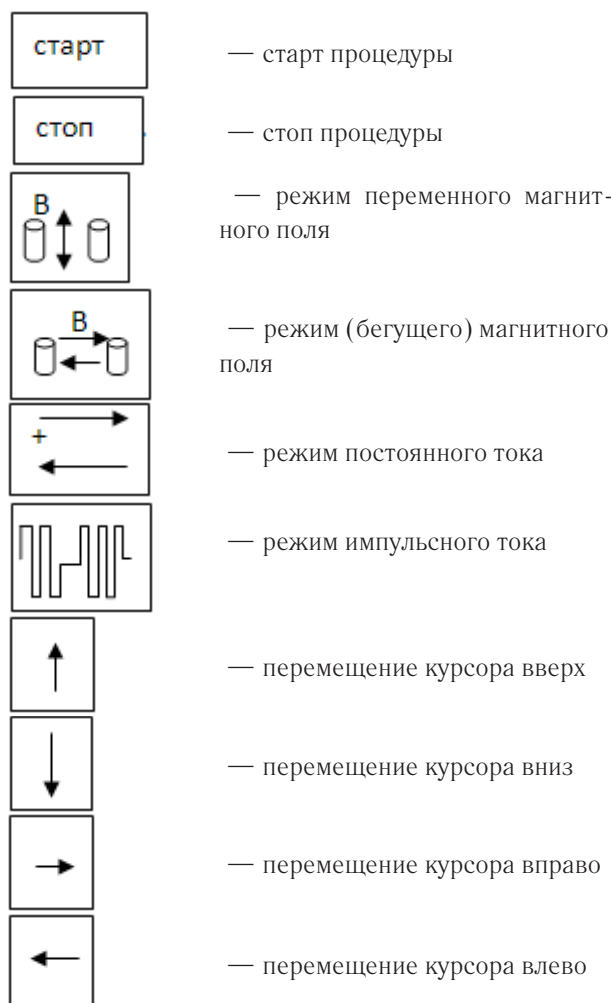
2) Бегущее поле. Импульсы тока с частотой 5 кГц подается поочередно на каждую катушку. Переход тока с одной катушки на другую происходит через 0,5 сек. Таким образом, данный прибор полезен для лечения позвоночника в грудном, поясничном и крестцовом отделах. Однако данными проблемами воздействие аппарата не ограничивается.

На переднюю панель прибора вынесено:

1) ЖК-дисплей; зона отображения информации разделена на пять полей, таким образом, врач может разделить процедуру на пять интервалов. В каждом интервале задается тип воздействия, его длительность (максимальное время до 20 минут), при задании — сила электрода и его воздействие. По полю каждого электрода перемещается курсор в виде темного блока. Символы, попадающие под курсор становятся светлыми. При проведении процедуры курсор исчезает. Врач может использовать не все интервалы;

2) Регулятор времени и уровня сигнала при электрофорезе.

3) Клавиатура:



Курсор перемещается циклично. На дисплее отображаются те же символы что и на клавиатуре.

На рисунке 2 и 3 приведены внешняя панель прибора и блок элементов воздействия, соответственно.

Структурная схема электронной части прибора изображена на рисунке 4.

На рисунке обозначено:

БЗС — блок звуковой сигнализации;

БКл — блок клавиатуры;

БОИ — блок отображения информации;

БМК — блок микроконтроллера;

ИПИВ — источник питания инструментов воздействия;

БКм — блок коммутации;

ИВ — инструменты воздействия;

СЗ — схема защиты;

БТм — блок таймера.

Функциональная схема, представлена на рисунке 5 и состоит из блоков:

В — выпрямитель;

Ф — фильтр;

МТП — магнитно-транзисторный преобразователь;

ЭМ — электромагниты;

ТК — тиристорный контактор;



Рис. 1. Вид дисплея прибора

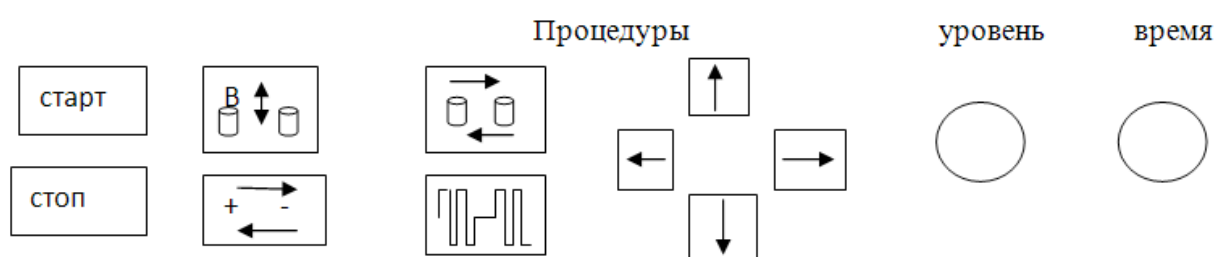


Рис. 2. Внешняя панель прибора

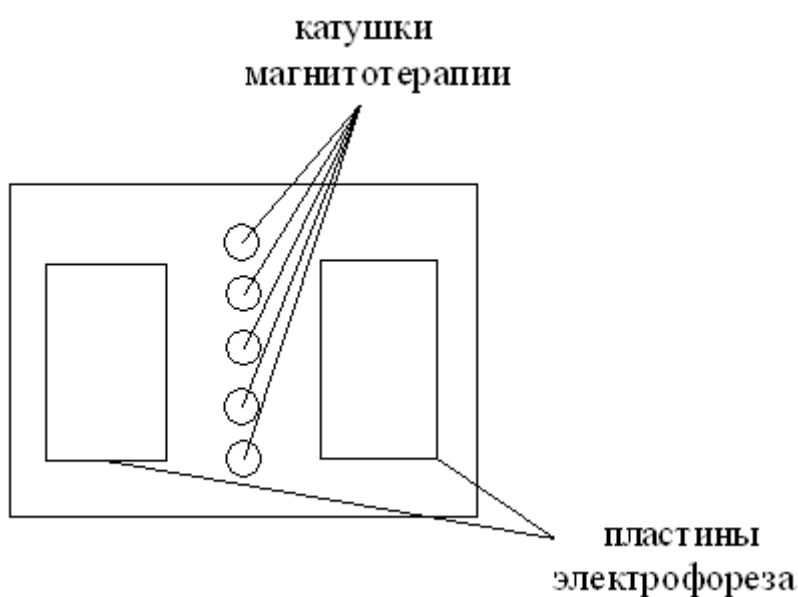


Рис. 3. Блок элементов воздействия

УМ — усилитель мощности;  
 ПЭФ — пластины электрофореза;  
 ШР — широтно-импульсный резистор;  
 ДЗ — драйвер звука;  
 МК — матрица контактов;  
 ИНУТ — источник напряжения управления током;  
 РГ — резистор;  
 Ф — буфер;  
 КК — контроллер клавиатуры;

LCD — ЖК — дисплей;  
 ВК — вентильный контактор.

Схема работает следующим образом. Сетевое напряжение выпрямляется, фильтруется и поступает на магнитно-транзисторный преобразователь, на выходе которого формируется переменное напряжение несинусоидальной формы частотой 5 кГц. Данное напряжение используется и в процедуре электрофореза и при магнитотерапии.

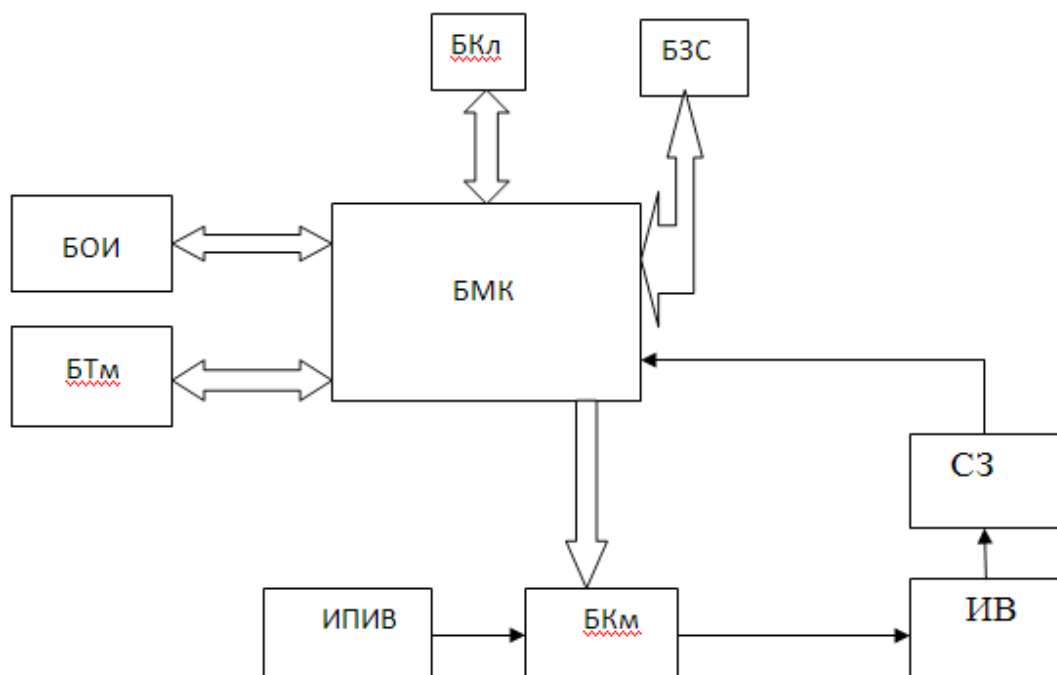


Рис. 4. Структурная схема электронной части прибора

В катушки, создающие магнитное поле, напряжение с выхода магнитно-транзисторного преобразователя поступает через тиристорные контакторы, задача которых включить катушки в определенном порядке на определенное время. Управляет тиристорными контакторами микроконтроллер через усилитель мощности (в регистр записывается соответствующий код). Перед каждым усилителем мощности находится логический элемент «И-НЕ» на один вход которого подаются импульсы с таймера микроконтроллера с частотой 100 кГц (модулируется управляющий сигнал).

Для электрофореза напряжение с выхода МТП регулируется широтно-импульсным способом и поступает на

пластины без изменения через вентильный каскад. Управляющие воздействия также модулируются.

Обслуживание клавиатуры возлагается на микроконтроллер, который записывает в регистр позиционный код. Считывание кода клавиатуры происходит через буфер. Отображение информации поле звуковым так и символьным способом происходит через соответствующие элементы, подключенные напрямую к портам микроконтроллера. Устройство контролирует ток в защитных функциях.

В таблице 1 показано назначение портов контроллера.

Таблица 1

Назначение портов микроконтроллера

Порт	назначение
RD	Информационный порт общего назначения
RB2	Сигнал «запись» для регистра управления магнитотерапией
RC0/T1S0	Таймер широтно-импульсного регулирования напряжения для электрофореза
RC1/T1S1	Таймер модуляции управляющих воздействий
RA0/AN0	Вход аналого-цифрового преобразователя защитной схемы
RE0÷RE2	Сигналы обслуживания звукового драйвера
RB3÷RB6	Сигналы обслуживания контроллера клавиатуры
RB1	Сигнал управления буфером клавиатуры
RB0	Сигнал «запись» в регистр клавиатуры
RA1,RC3,RC4	Сигналы управления таймером реального времени

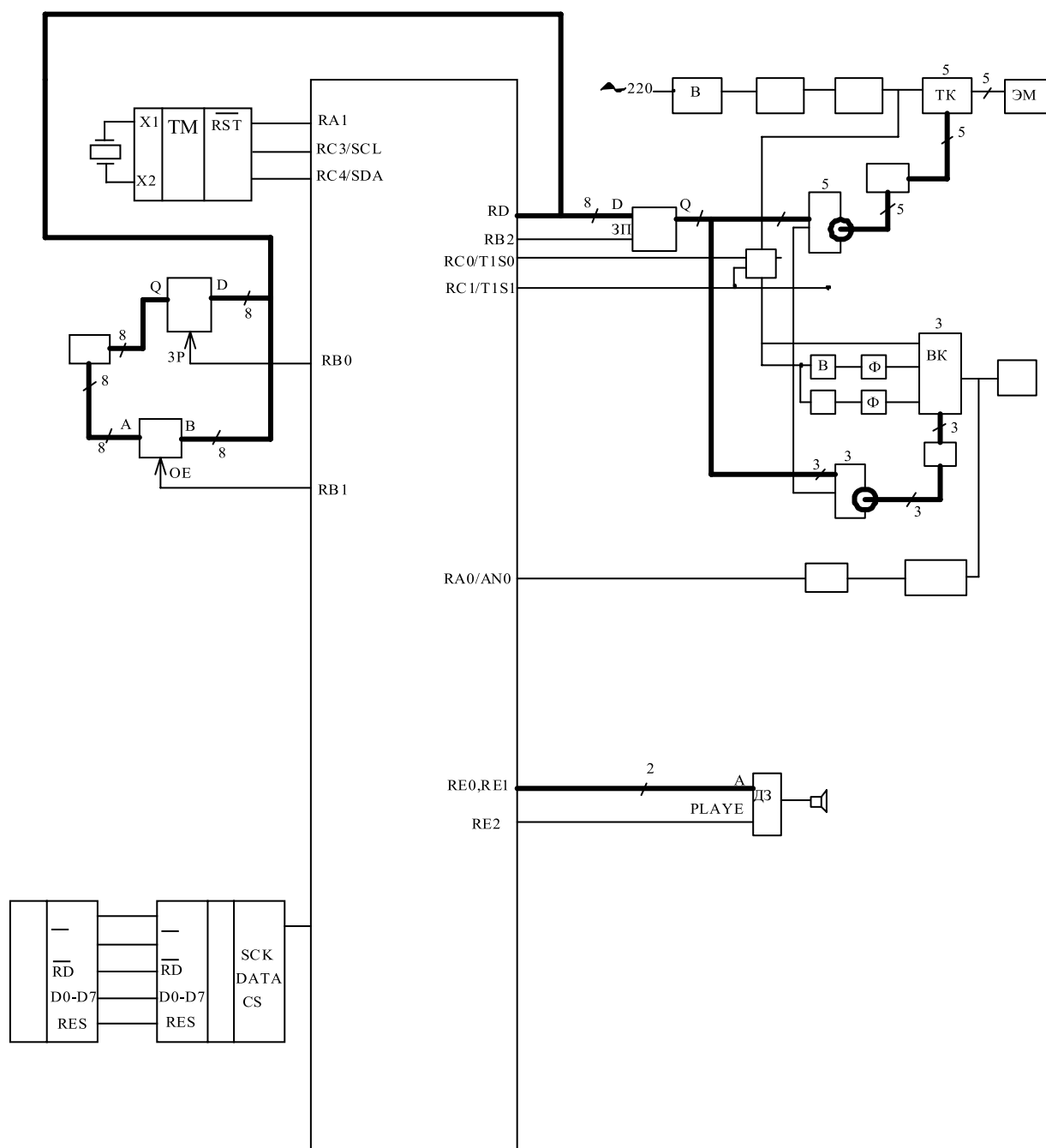


Рис. 5. Функциональная схема устройства

*Литература:*

1. Данченко А. П. Физиотерапевтические процедуры/А. П. Данченко, — М.: Высшая школа, 1988. — 342 с.
2. Капранов В. Д. Физиология человека/ В. Д. Капранов — М.: Высшая школа, 1985. — 208 с.
3. Приходько П. П. Анатомия/ П. П. Приходько — М.: Медицина, 1983. — 256 с.



### 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

#### Оптимизация размещения абонентов по сети передачи данных

Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент;  
Белецкий Павел Андреевич, аспирант  
Пензенский государственный университет

*В статье представлен метод оптимизации размещения абонентов по сети передачи данных.*

**Ключевые слова:** оптимизация, абоненты, информационно-вычислительные сети.

В наши дни повсеместное распространение получили кластерные системы, связанные между собой высокоскоростными каналами. Они используются для передачи различных видов информации: изображений, аудио- и видеoinформации. Передача подобного рода информации предполагает увеличение пропускной способности и повышение надежности каналов связи. При работе с аудиоинформацией возможна потеря пакетов, что налагает дополнительные требования к надежности каналов связи. Сети, объединяющие вычислительные устройства, отличаются повышенной чувствительностью к изменению задержек, значение которых не должно превышать нескольких миллисекунд.

Чтобы все необходимые требования к скорости и уровню надежности при передаче выполнялись, следует обратить внимание на следующие моменты:

Сети передачи чаще всего проектируют с многоуровневой, иерархической, структурной организацией. Если производить увеличение числа уровней сети, то существенно упрощается задача организации сетей, однако также происходят ухудшения их временных характеристик. Поэтому в сетях, при проектировании которых необходимо добиться высокой скорости передачи данных, следует понижать число уровней связи.

Таким образом, для оптимизации параметров современных систем связи следует понижать количество уровней иерархической структуры. Для эффективного проектирования сети при определении числа уровней необходимо учитывать требования: во-первых, уменьшение длительности задержек передачи данных и, во-вторых, упрощение процедур проектирования и эксплуатации сети. Для значительного уменьшения задержек при передаче данных, сеть должна состоять из трех уровней: сервера, сети доступа и клиентского уровня.

Для решения поставленных задач предлагается алгоритм, при разработке которого использовались предложения организации сети, описанные в работах [1,3]. При описании алгоритма применим следующие обозначения:

$Y_1$  — текущее подмножество пунктов размещения  $n$  серверов, причем  $Y_1 \subseteq Y$ .  $Y_0^n$  — предварительно заданное множество пунктов начального расположения  $n$  начального расположения серверов, причем  $|Y_0^n| = n$ ,  $Y_0^n \subseteq Y$ .  $r$  — текущее число пунктов  $i \in X$ .  $\Delta$  — шаг приращения числа  $r$ .  $C_j$  — заданное множество пунктов, находящихся в окрестности сервера  $j \in Y$ , причем  $C_j \subset Y$ .

Описание алгоритма:

1.  $n := 1$

2.  $Y_1 := Y_0^n$

3. Серверам  $j \in Y_1$  определить зоны  $X_l$ , распределяя каждый пункт  $i \in X$  к одному из серверов  $j_l \in Y_0^n$ , где  $l = \overline{1, m}$ , по критерию минимума  $Q_{ij}$ . Вычислить

$$\theta = \sum_i \min_{j \in Y_1} Q_{ij}$$

4. Проверить  $\theta$  на условие  $\theta < \infty$ . Если условие выполняется, то перейти к шагу 5. Если не выполняется, то к шагу 6.

5. Для каждой зоны  $X_l$  найти такой пункт  $j_l^1 \subset Y \cap X_l$ , чтобы выполнялось соотношение

$$\omega_{j_l^1} = \min_{j_l} \{ \omega_{j_l} / j_l \in Y \cap X_l \}, \quad \text{где} \quad \omega_{j_l} = \sum_{i \in X_l} Q_{ij_l},$$

$Y_1 := \bigcup_l j_l^1$ , переход к шагу 3.

6. Упорядочить все пункты  $i \in X \setminus Y_1$  по возрастанию величин  $\min_{j \in Y_1} Q_{ij}$ .

7. Разделить упорядоченный список указанных пунктов на группы по  $\Delta$  пунктов в каждом. В последней группе число пунктов может оказаться меньше, чем  $\Delta$ .

8.  $Y_2 := Y_1$ , где  $Y_2$  — множество пунктов, подключаемых к сети серверов.

9. Определить зоны  $X_i$ , подключая пункты  $i \in Y_2$  к  $n$  серверов из  $Y_1$  по критерию минимума  $Q_{ij}$ .

10. При сравнении 2-х вариантов в соответствии с рекомендациями [2] используется показатель разности затрат. При построении сетей серверов он принимает вид:

$K = K_2 - K_1$ , где  $K = K_1, K_2$  — затраты сравниваемых вариантов при организации сети. Вычислить  $K$  и запомнить результат.

11. В первой зоне сместить сервер, размещенный в пункте  $j_1 \in Y_1 \subset Y$ , в один из пунктов  $j \in A_{j_1} = \{C_{j_1} \cap Y_2 \setminus Y_1\}$ , вновь закрепить все пункты  $i \in Y_2$  за каждым из серверов по минимуму  $Q_{ij}$ . Вычислить  $K$  и запомнить результат.

12. После поочередного смещения сервера первой зоны из пункта  $j_1$  во все пункты текущей окрестности  $A_{j_1}$  и выполнения шага 11 расположить сервер в точке  $j \in A_{j_1}$ , для которой получено наибольшее значение  $K$ .

13. Выполнить шаги 11 и 12 для следующей зоны. Закончить вычисления, когда при последовательном обходе  $n$  зон значение  $K$  сохранится неизменным.

14. Для фиксированного значения и заданного списка обслуживаемых пунктов найдена локально-оптимальная структура. Запомнить эту структуру и величину  $K$ .

15. Включить в множество  $Y_2$  очередной массив пунктов, упорядоченных в соответствии с шагом 6 и перейти к шагу 9. Если охвачено все множество пунктов  $X$ , перейти к шагу 16.

16.  $n := n + 1$ , перейти к шагу 2.

17. Процесс заканчивается, при условии, что  $n > p$ , где  $p$  — максимальное число серверов. Из всех структур, найденных на шаге 12, выбрать наилучшую.

Актуальность этой задачи возрастает с каждым днем в связи со стремительным внедрением и применением кластерных вычислительных систем. Предложенный алгоритм позволяет существенно снизить затраты при проектировании сети. Точность данного алгоритма возрастает при увеличении множества пунктов, находящихся в окрестностях рассматриваемых серверов.

#### Литература:

1. Давыдов Т.Б, Рогинский В. Н. Проблемы построения сетей связи. — М.: Наука. — 1968. — С. 5—29.
2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М.: Экономика. — 1969. — 16 с.
3. Шастова Г. А., Коекин А. И. Выбор и оптимизация структуры информационных систем. — М.: Энергия. — 1972. — 256 с.

## 5. ЭНЕРГЕТИКА

### Разрушение бетонных оболочек взрывом

Володин Геннадий Тимофеевич, доктор технических наук, профессор;  
Новиков Андрей Сергеевич, аспирант  
Тульский государственный университет

Нахождение условий гарантированного разрушения оболочечных конструкций является актуальной научно-технической проблемой при проектировании взрывозащитных инженерных сооружений, при определении технических условий специальных складов боеприпасов и др. Важно определить форму и величину заряда взрывчатого вещества (ВВ), при взрыве которого на некотором расстоянии от оболочечной конструкции, гарантированно произойдет её разрушение. Под разрушением понимаем потерю несущей способности оболочки вследствие появления в ней трещин, сколов, разделений на фрагменты.

#### Физическая модель (основные допущения)

Рассмотрим задачу о нахождении необходимой массы  $C$  заряда ВВ для гарантированного разрушения открытой цилиндрической оболочки (рисунок 1).

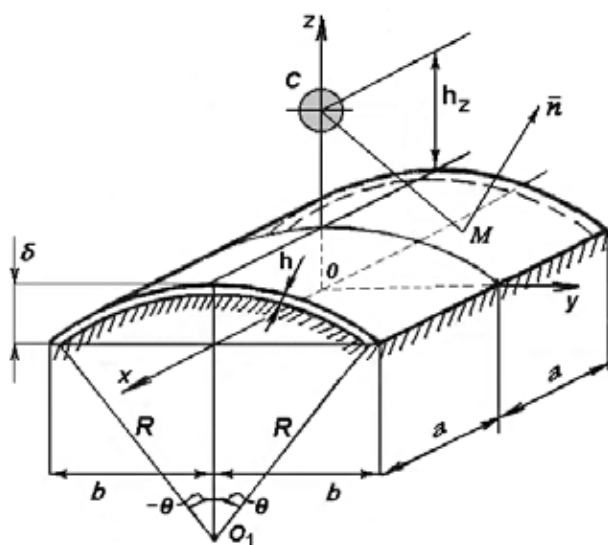


Рис. 1. Схема расположения заряда ВВ над оболочкой при взрыве

Оболочка, с размером плана  $2a \times 2b$ , выполнена из упругого материала (бетон), имеет постоянную толщину  $h$ , радиус кривизны  $R$  и закреплена по всему своему контуру в идеальных (недеформируемых) опорах. Оболочка принимается тонкой и полой, т. е.  $h/R \leq 1/20$  [2] и  $\delta/\min[a, b] \leq 2/5$  [7] соответственно. Материал оболочки предполагается однородным и изотропным. Рассматривается упругий режим деформирования вплоть до ее разрушения. Принимаются основные классические гипотезы теории тонких оболочек [2]. Прогибы оболочки предполагаются малыми, т. е. не превышающими  $1/5$  ее толщины. На расстоянии  $h_z$  от срединного слоя оболочки, над центром симметрии плана, располагается сосредоточенный сферический заряд ВВ радиуса  $r_0$ , тип и энергетические характеристики которого определяются обобщенным параметром  $A_0$ .

В качестве ВВ рассматривается литой тротил с плотностью  $\rho_0 = 1630$  кг/м<sup>3</sup> и  $A_0 = 400$  м/с [3]. Рассматривается ближняя область действия взрыва  $h_z/r_0 \leq 15$  [3], для которой давлением окружающей среды можно пренебречь по сравнению с давлением продуктов взрыва. Вследствие кратковременности действия взрывной нагрузки (время её дей-

ствия не превышает  $2 \times 10^{-4}$  с) начальными смещениями точек оболочки, за время действия нагрузки, можно пренебречь [6].

### Математическая модель и решение задачи

Введем прямоугольную декартову систему координат  $Oxyz$  с началом в центре симметрии плана оболочки (рисунок 1). Обозначим  $\delta$  — стрелу подъема оболочки над планом,  $\delta = R - \sqrt{R^2 - b^2}$ ,  $O_1$  — центр кривизны,  $2\theta$  — угол, определяющий длину дуги цилиндрической оболочки радиуса  $R$ .

Геометрические и механические параметры оболочки:  $a = 1$  м,  $b = 0.75$  м,  $R = 3$  м,  $h = 4 \cdot 10^{-2}$  м,  $\delta = 0.095$  м, плотность бетона  $\rho = 2.2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент Пуассона  $\mu = 0.13$ , модуль Юнга  $E = 3 \cdot 10^{10}$  Па, цилиндрическая жесткость  $D = Eh^3 / [12(1 - \mu^2)]$ , коэффициент однородности на гарантированное разрушение  $K_{0*} = 1.5$ , коэффициент динамичности  $\mu_3 = 1.3$ , предел прочности на одноосное растяжение  $\sigma^p = 6 \cdot 10^6$  Па и на сжатие  $\sigma^c = 24 \cdot 10^6$  Па.

Расстояния  $h_z = \{0.2, 0.3, 0.4, 0.5\}$  м. Граничные условия соответствуют способу закрепления оболочки — отсутствию по всему контуру прогибов и углов поперечных поворотов сечений:

$$w(x, y) = 0, \quad w'_x(x, y) = 0, \quad \text{при } x = \pm a, \quad (1)$$

$$w(x, y) = 0, \quad w'_y(x, y) = 0, \quad \text{при } y = \pm b. \quad (2)$$

Координатные функции, удовлетворяющие граничным условиям (1) и (2), возьмем в следующем виде

$$f_1(x, y) = (a^2 - x^2)^{20} (b^2 - y^2)^{20}, \quad f_2(x, y) = (a^2 - x^2)^{24} (b^2 - y^2)^{24}. \quad (3)$$

При относительных расстояниях  $h_z/r_0 \leq 15$  удельный импульс  $i$ , действующий на оболочку, может быть вычислен, согласно исследованиям Т. М. Саламахи [3, 6], по формуле

$$i = \frac{A_0 C}{r^2} \cos^2 \varphi, \quad (4)$$

где  $r$  — расстояние от точки  $M$  до центра заряда ВВ,  $\varphi$  — угол падения (угол образованный скоростью потока продуктов взрыва с нормалью к поверхности преграды).

Согласно принятым допущениям, деформирование оболочки происходит уже после действия взрывной (импульсной) нагрузки, в течение свободных колебаний, которые описываются уравнением

$$\nabla^4 w_G + \frac{\rho h}{D} \frac{\partial^2 w_G}{\partial t^2} = 0, \quad (5)$$

где  $w_G = w_G(x, y, t)$  — прогиб произвольной точки  $M(x, y)$ . Начальные условия для уравнения (5) имеют вид:

$$w_G(x, y, 0) = 0, \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial w_G}{\partial t} \right|_{t=0} = V. \quad (7)$$

Начальные скорости точек оболочки  $V = i/\rho h$ , с учетом (4), выразятся в виде

$$V(x, y) = \frac{A_0 C \left[ \sqrt{R^2 - y^2} [R + h_z] - R^2 \right]^2}{\rho h R^2 \left[ x^2 + y^2 + \left( R + h_z - \sqrt{R^2 - y^2} \right)^2 \right]^2}. \quad (8)$$

Функцию прогибов  $w_G(x, y, t)$ , удовлетворяющую граничным условиям (1) и (2) и учитывая (3), будем искать в виде  $w_G(x, y, t) = c_1(t) \cdot f_1(x, y) + c_2(t) \cdot f_2(x, y)$ . (9)

Начальное условие (6) выполняется, если  $c_1(0) = 0$  и  $c_2(0) = 0$ . Обозначим  $\alpha_1 = \dot{c}_1(0)$  и  $\alpha_2 = \dot{c}_2(0)$ . Зафиксируем высоту  $h_z = 0.2$  м. Найдем из (9) выражение  $\dot{w}_G(0)$  и подставим его в начальное условие (7). Получим невязку  $F$ , минимизируя которую аналогично работе [1], придем к соотношениям

$$\alpha_1(C) = 3.844 \cdot 10^6 \cdot C, \quad \alpha_2(C) = 5.84 \cdot 10^7 \cdot C.$$

Таким образом, полностью находим начальные условия для уравнения (5). Подставляя (9) в (5), так же получаем невязку  $N(x, y, t)$ . Помножив  $N(x, y, t)$  на координатные функции  $f_1(x, y)$ ,  $f_2(x, y)$  и проинтегрировав полученные выражения по площади плана оболочки [9], придем к системе уравнений [1], разрешая которые найдем выражения для  $c_1(t)$  и  $c_2(t)$ . Первое амплитудное колебание происходит в момент времени  $t_* = 0.0006936$  с.

Подставим, полученное таким образом, приближенное решение  $w_G(x, y, t)$  в выбранный критерий разрушения, предложенный П. П. Баландиным [8], в котором учтем динамический характер действующей нагрузки. Согласно введенным ранее основным гипотезам теории тонких оболочек и динамике внешнего воздействия, этот критерий приводит к соотношению

$$\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2 - K_{0*} \cdot \mu_3 \cdot (\sigma^p - \sigma^c) (\sigma_x + \sigma_y)}{K_{0*} \cdot \mu_3^2 \cdot \sigma^p \sigma^c} \geq 1, \quad (10)$$

где для срединной поверхности имеем

$$\sigma_x = \frac{E\mu}{1-\mu^2} \frac{w_G}{R}, \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \frac{w_G}{R}, \quad \tau_{xy} = 0.$$

Равенство в (10) соответствует пересечению поверхности, определяемой левой частью неравенства (10), плоскостью, определяемой правой частью того же неравенства. Это достигается при массе заряда ВВ  $C = 42 \cdot 10^{-3}$  кг.

Сравнение скорости  $V(x, y)$  из (8), при найденной массе  $C$ , со скоростью  $\dot{w}(0)$  приведено на рисунке 2. Отношение максимального прогиба к толщине оболочки, в момент времени  $t_*$ , будет равно  $|w_{G\max}|/h = 0.029$ . Данная величина не превышает  $1/5$ , что соответствует введенной гипотезе малых прогибов.

Массы ВВ, времена  $t_*$ , отношения  $|w_{G\max}|/h$  соответствующие высотам  $h_z = \{0.3, 0.4, 0.5\}$  м находим аналогичным способом. Результаты данных вычислений приведены в таблице 1.

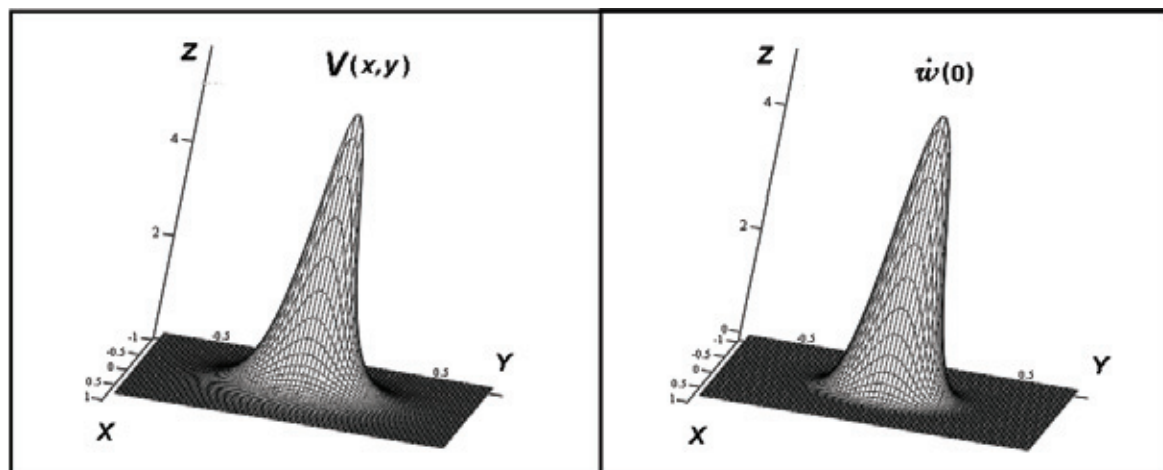


Рис. 2. Сравнение скоростей  $V(x, y)$  и  $\dot{w}(0)$

Таблица 1

Результаты вычислений

	$h_z = 0.2$ м	$h_z = 0.3$ м	$h_z = 0.4$ м	$h_z = 0.5$ м
$C$ , кг	$42 \cdot 10^{-3}$	$67 \cdot 10^{-3}$	$95 \cdot 10^{-3}$	$126 \cdot 10^{-3}$
$t_*$ , с	0.0006936	0.0006321	0.0005285	0.000501
$ w_{G\max} /h$	0.029	0.028	0.028	0.028

Как видно из таблицы 1, с увеличением расстояния от заряда ВВ до оболочечной конструкции  $h_z$  увеличивается и разница между массами зарядов ( $67 - 42 = 25 < 28 = 95 - 67$  и т. д.), что согласуется с точки зрения практики.

#### Литература:

1. Володин Г. Т., Новиков А. С. Метод Б. Г. Галеркина в задачах гарантированного разрушения оболочечных конструкций взрывом // Materiály IX mezinárodní vědecko-praktická conference «Aplikované vědecké novinky — 2013». Díl 12. Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2013. — p. 28–35.
2. Новожилов В. В. Теория тонких оболочек. Л.: ГСИСП, 1962. — 432 с.

3. Саламахин Т. М. Физические основы механического действия взрыва и методы определения взрывных нагрузок. М.: ВИА, 1974. — 255 с.
4. Володин Г. Т. Действие взрыва зарядов конденсированных ВВ в газовой и жидкой средах. Часть 2. Взрывостойкость и гарантированное разрушение элементов конструкций. Тула: Левша, 2005. — 160 с.
5. Володин Г. Т. Прямой вариационный метод исследования взрывостойкости и гарантированного разрушения балочных конструкций взрывной нагрузкой // Вестник Тульского государственного университета. Серия Дифференциальные уравнения и прикладные задачи. Вып. 1. — 2009. — С. 49–54.
6. Саламахин Т. М. Разрушение взрывом элементов конструкций. М.: ВИА, 1961. — 275 с.
7. Колкунов Н. В. Основы расчета упругих оболочек. М.: Высшая школа, 1963. — 278 с.
8. Гольденблат И. И., Копнов В. А. Критерии прочности и пластичности конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1968. — 191 с.
9. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. М.: Мир, 1988. — 347 с.



## 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

### О возможности получения металлического кальция различными восстановителями

Фалин Владимир Викторович, научный сотрудник  
Фирма «Вак ЭТО» (г. Москва)

*Исследована возможность получения металлического кальция различными термическими методами, а именно — методом диссоциации карбида кальция в вакууме, с помощью газовых восстановителей и металлотермическим восстановлением оксида кальция. Показано, что применение газовых восстановителей или диссоциация карбида кальция при температурах ниже 1750 °С не позволяет получить металлический кальций. Аллюминотермическое восстановление сопровождается хорошей смачиваемостью алюминием поверхности оксида, однако не является оптимальным по себестоимости восстановителя. Критерий смачиваемости положен в основу выбора металла восстановителя.*

**Ключевые слова:** кальций; восстановление оксида кальция; диссоциация карбида кальция; вакуумная печь; аллюминотермическое и металлотермическое восстановление.

В мире и, прежде всего, в КНР как главном поставщике кальция, его получение основано на процессе восстановления оксида кальция алюминием [1]. В Российской Федерации этот способ пока не нашел своего промышленного воплощения. Поскольку для нужд металлургической промышленности на первый план выходит не чистота получаемого кальция, а его стоимость, нами исследовалась возможность получения кальция металлотермическим, в том числе, аллюминотермическим, а также альтернативными методами, связанными с проведением нагрева в вакууме.

Процессы получения кальция проводились на вакуумной дистилляционной электропечи ВОж-16–22 (рис. 1) в состав электропечи помимо основных компонентов входили:

- нагревательный блок из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) различной плотности;
- охлаждаемый водой конденсатор паров кальция;
- в вакуумной системе предусмотрен мембранный насос, позволяющий проводить откачку паров воды при относительно низких температурах.

Используемая в работе измерительная аппаратура:

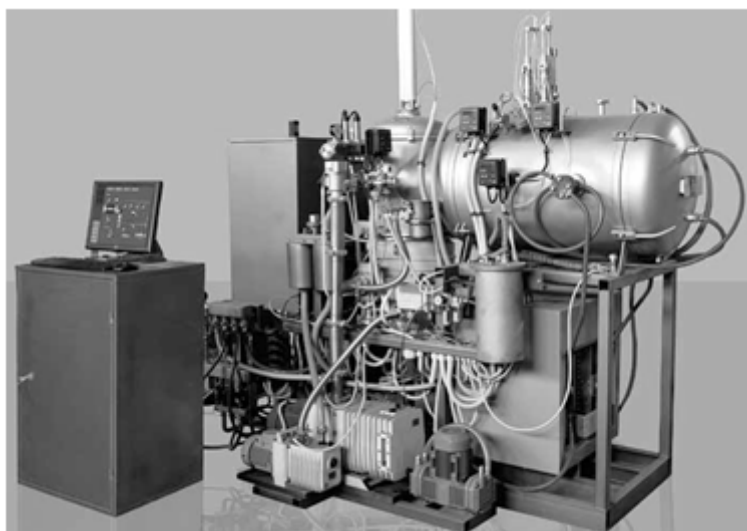


Рис. 1. Вакуумная дистилляционная печь ВОж-16–22

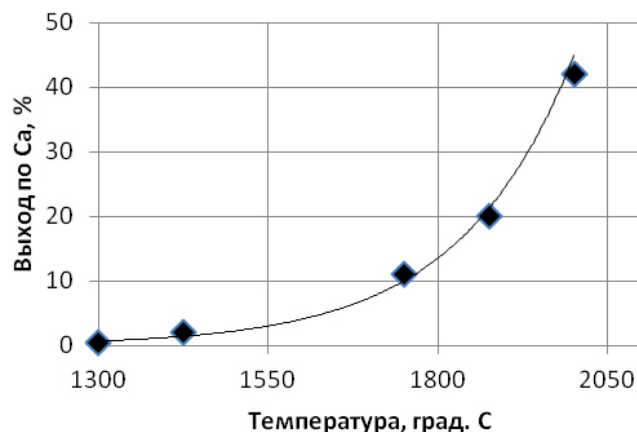


Рис. 2. Выход кальция при дистилляции карбида кальция в зависимости от температуры при постоянном давлении 1 Па и времени выдержки 3 час.

- рентгеновская съемка (РФА) проведена на дифрактометре ДРОН-3 в  $\text{CuK}\alpha$ ;
- растровая электронная микроскопия (РЭМ) проведена на электронном микроскопе FEI Quanta 600 FEG с приставкой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа EDAX;
- массу образцов измеряли на лабораторных электронных весах AJN-620CE.

Используемые в работе материалы: оксид и карбид кальция, алюминий марки АПВ, кремний технический КР00, ферросилиций ФС75, ацетилен марки Б, аргон газообразный высшего сорта и диоксид углерода газообразный.

Возможность получения металлического кальция как продукта диссоциации карбида кальция была проверена при проведении нагревов в вакууме 1 Па. На рис. 2 показана зависимость выхода кальция от температуры при постоянной выдержке — 3 час.

Как видно из представленных данных, заметный выход кальция соответствует температуре  $1750^\circ\text{C}$ . Это не совпадает с расчетными данными работы [2], в которой приведены результаты термодинамических оценок реакции диссоциации карбида кальция с поправкой на изотерму Ван-Гоффа.

В соответствие с этими оценками температура начала диссоциации при давлении 100 Па должна составлять  $1526^\circ\text{C}$ , а при давлении 10 Па —  $1286^\circ\text{C}$ . Причиной такого несоответствия, видимо, является то обстоятельство, что при выводе уравнения изотермы Ван-Гоффа предполагается гомогенность системы, в которой происходит химическая реакция (наличие пара кальция и твердых углерода и карбида кальция делает систему гетерогенной), а также, то, что каждый участник реакции есть идеальный газ (очевидно, в рассматриваемой системе — это не так). Также вызывает большие сомнения принципиальная возможность применения стандартных термодинамических расчетов, например, по алгоритму Темкина — Шварцмана,

для реальных необратимых термических процессов, сопровождаемых испарением, образованием и растворением промежуточных соединений, изменением межфазных границ.

Образующийся при диссоциации  $\text{CaC}_2$  углерод обладает низкой эрозионной стойкостью и требует применения специальных мер, предотвращающих распыление и последующее осаждение продуктов износа в местах электрических вводов в герметичный объем, а также исключая попадание частиц углерода в откачную систему. Как показали прямые эксперименты, при скорости откачки (скорости напуска воздуха) более 50 Па/с в диапазоне давлений  $> 30$  кПа происходит «разброс» углерода по рабочему пространству печи, а, следовательно, возникает опасность его попадания в систему откачки и на электрические вводы.

Следовательно, применение прямой диссоциации карбида кальция требует проведение процесса в области высоких температур (выше  $1750^\circ\text{C}$ ); время откачки и напуска воздуха при этом будет составлять до 1 часа. При стоимости карбида кальция 60–65 руб./кг [3] получение кальция из такого сырья при существующих ценах на кальций вряд ли рентабельно.

Эксперименты с газообразными восстановителями ( $\text{C}_2\text{H}_2$  — 10 кПа +  $\text{Ar}$  — 24 кПа с диссоциацией ацетилена) или  $\text{CO}_2$  (наличие в печи нагревательного блока из УУКМ приводит к образованию  $\text{CO}$  по реакции Будуара) показали отсутствие восстановления оксида кальция, как при постоянной атмосфере газа-восстановителя, так и при проведении циклического режима.

Наличие в составе оксида кальция заметного количества карбоната кальция (в отечественном сырье доля карбоната кальция в оксиде достигает 15–20 масс. %), а тем более применение двуокиси углерода в печи с нагревателями из углеродного материала приводит к выходу из строя нагревателя. На рис. 3 показано разрушение электрического контакта нагревателя печи после проведения



Рис. 3. Разрушение углеродного нагревателя печи ВОЖ-16–22 после проведения экспериментов с  $\text{CO}_2$

экспериментов с  $\text{CO}_2$ . Между секцией нагревателя и токоподводом образовалась магистральная трещина.

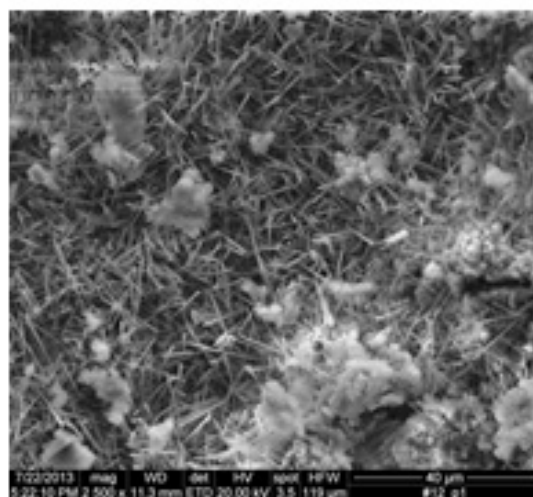
В настоящее время единственным методом металлургического получения кальция, применяемым в промышленности, является способ алюминотермического восстановления оксида кальция. Для гетерогенной системы  $\text{CaO} - \text{Al}$  (расплав) —  $\text{Ca}$  (газ) при прочих равных параметрах кинетика восстановления определяется размерами межфазной границы раздела.

При алюминотермическом (АПВ) восстановлении в составе шихты были идентифицированы следующие фазы:  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{Ca}$ . На рис. 4 показана микроструктура шихты после проведения алюминотермического восстановления (температура  $1350^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 3 час. при остаточном давлении 1 Па). Обращает на себя внимание наличие ярко выраженных линейных структурных элементов толщиной  $10^2$ – $10^3$  нм (рис. 4, а,б — съемка с поверхности).

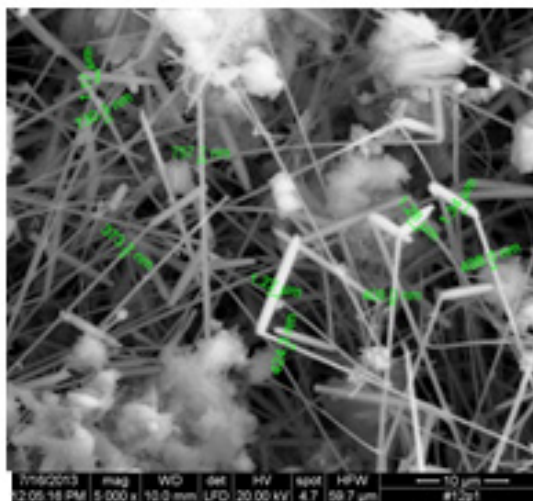
Состав этих структурных элементов, точнее, соотношение содержания кальция к алюминию (рис. 5.) не позволяет «приписать» линейные структурные элементы ни к одной из идентифицированных фаз: в них «завышено» количество алюминия.

Если предположить, что измеренная величина состава связана с раствором  $\text{Al}_2\text{Ca} - \text{Al}_4\text{Ca}$ , имеющим область гомогенности более 10 %  $\text{Ca}$  (раствор на базе  $\text{Al}_2\text{Ca}$  в приблизительном соотношении интерметаллидов 75:25), то это устраняет «противоречие» между результатами РФА и РЭМ.

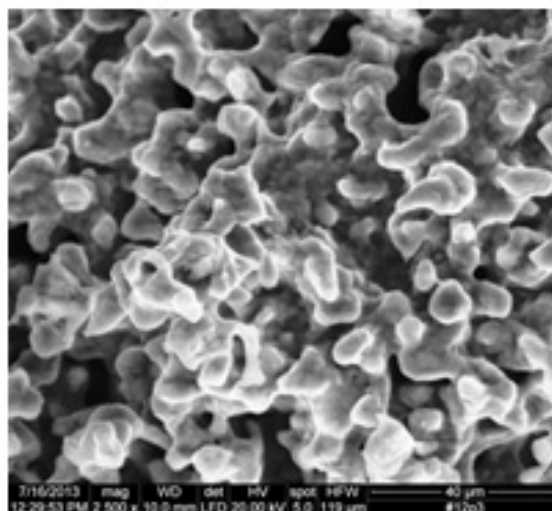
Линейные размеры составляют 200–500 мкм, что близко к размеру фракций  $\text{CaO}$ . В то же время съемка с поверхности излома образца не выявила наличие подобных структурных элементов (рис. 4, в). Поверхности съемки отличаются условиями смачиваемости.



а)



б)



в)

Рис. 4. Микроструктура брикета после алюминотермического восстановления во вторичных и обратно рассеянных электронах (а) и во вторичных электронах (б,в): а,б — съемка с внешней поверхности образца; в — съемка с поверхности излома



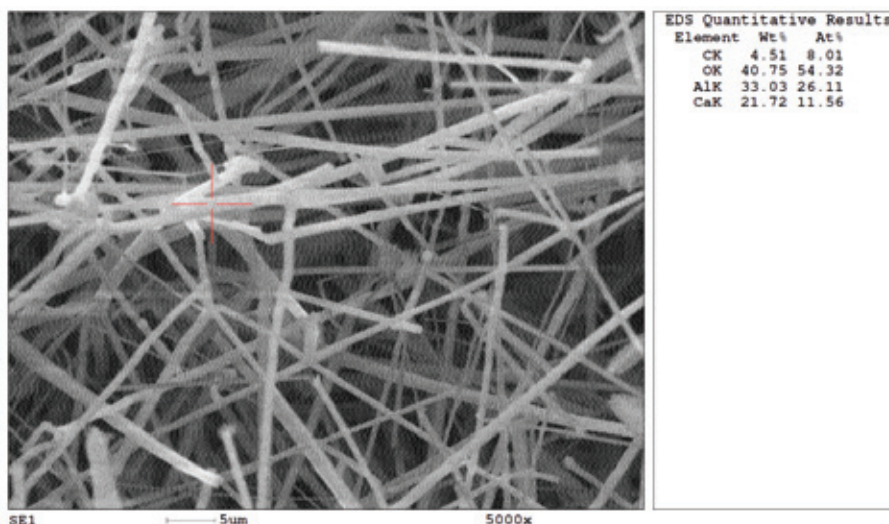


Рис. 5. Элементный состав линейной структуры брикета после проведения алюминотермического восстановления

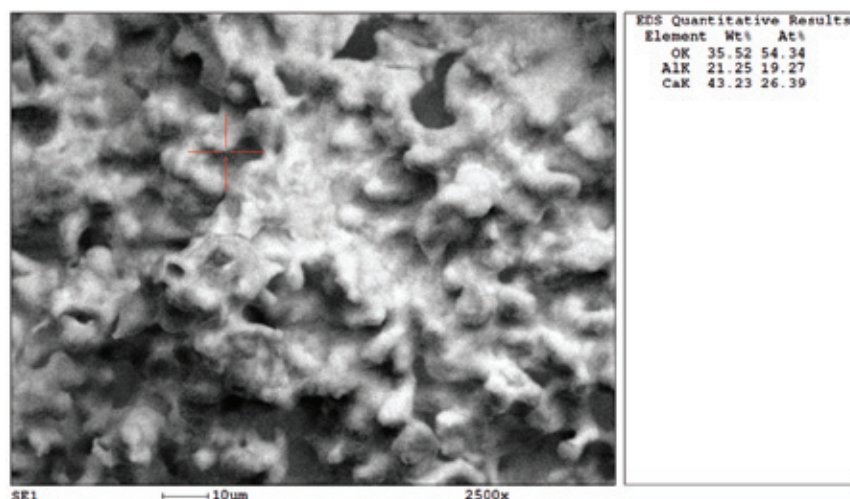


Рис. 6. Элементный состав вблизи светлой границы после проведения алюминотермического восстановления

Вблизи светлой границы (рис. 6.) — смесь алюминатов кальция  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Проведенные эксперименты дают основание полагать, что смачиваемость восстановителем межфазной границы играет значительную роль в металлотермическом восстановлении оксида кальция. Поскольку одной из основных статей расхода при проведении алюминотермического восстановления является стоимость алюминия, были проведены эксперименты по изучению возможности замены алюминия более дешевым восстановителем.

В качестве восстановителей применяли технический кремний Кр00, ферросилиций ФС 75 в различных отношениях с порошком вторичного алюминия АПВ. При применении железа в его составе присутствовали 1,2–2,0 % Si и 0,4–0,7 % Mn.

Порошки смешивали с оксидом кальция в массовом соотношении 80 % оксида и 20 % металла-восстановителя с последующим прессованием в брикеты. В табл. 1

показаны составы восстановителей (ат. %) и величина выхода по кальцию. При выбранном режиме (температура  $1350^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 3 час. при остаточном давлении 1 Па) восстановитель находится в жидком состоянии; в табл.1 также указана температура ликвидуса восстановителя [4].

Анализ представленных результатов свидетельствует о сложном влиянии состава и температуры ликвидуса восстановителя на выход кальция. Так, выход кальция (табл.1), полученный при восстановлении смесью 76 % Al — 24 % Si (№ 2), меньше выхода кальция при восстановлении смесью 72,8 % Al — 23,3 % Si — 3,9 % Fe (№ 6).

Обычный подход к интерпретации результатов, полученных при восстановлении CaO, предусматривает, что скорость образования кальция на конденсаторе на начальных стадиях определяется испарением, а затем — встречной диффузией кальция в оксиде и металла восстановителя к поверхности раздела. Однако это не позволяет

Таблица 1

Состав исследованных восстановителей оксида кальция и выход кальция

№ смеси	Восстановитель, ат. %			Выход по Ca, %	Т ликвидуса, °С [4]
	Al	Si	Fe		
1	100	-	-	57	660
2	76	24	-	43	760
3	51	49	-	39	1020
4	26	74	-	27	1250
5	89,3	9,2	1,5	51	735
6	72,8	23,3	3,9	47	880
7	50,8	42,2	7	38	1040
8	-	85,7	14,3	17	1320

Таблица 2

Состав кальция

№ смеси	Примеси, масс. %						
	Mg	Al	Si	Fe	Mn	K	Na
1	0,44	0,50	0,05	0,003	0,049	0,002	0,001
3	0,41	0,05	0,03	0,002	0,02	0,015	0,015
4	0,35	0,04	0,06	0,002	0,02	0,003	0,006
8	0,40	0,04	0,04	0,005	0,02	0,009	0,012
Электролиз «ЧМЗ»	0,0005	0,012	0,016	0,0036	0,0026	0,003	0,01

объяснить того факта, что рассчитанная, например, по данным [5,6] энергия активации процесса (соответственно 47 кДж/моль и 42 кДж/моль) в 3–4 раза отличаются и от значений теплоты испарения кальция, и от значений энергии активации диффузии кальция в структурах, близких к алюмосиликатам кальция [7].

Исходя из того, что устойчивое равновесие системы с постоянной температурой и объемом соответствует минимуму свободной энергии Гельмгольца, а также — исходя из модели, в которой при наличии смачиваемости на физическом рельефе поверхности раздела, происходит перемещение расплава металла-восстановителя, можно получить зависимость выхода  $Y$  от температуры  $T$  процесса в виде соотношения:

$$Y = K \times \ln(T/T_{\text{лиq}}) \times \exp(-Q/RT),$$

где:  $K$  — постоянный для данного восстановителя коэффициент пропорциональности,  $T_{\text{лиq}}$  — температура плавления для однокомпонентного восстановителя или температура ликвидуса многокомпонентного восстановителя,  $R$  — газовая постоянная,  $Q$  — теплота испарения кальция.

Приведенное выше соотношение вполне удовлетворительно согласуется с известными нам данными по металлотермическому восстановлению оксида кальция.

Переход от алюминия к иному восстановителю приведет к изменению  $T_{\text{лиq}}$ . Повышение температуры восстановления сопровождается повышением расхода электроэнергии вакуумной электропечи. Таким образом, одновременный учет стоимости металла-восстановителя и стоимость электроэнергии на единицу массы кальция позволит выйти на оптимальный режим восстановления.

#### Выводы:

1. Применение газовых восстановителей водорода и оксида углерода не приводит к восстановлению оксида кальция.

2. Получение металлического кальция диссоциацией карбида кальция протекает в вакууме 1 Па при температурах не ниже 1750°С. Образующаяся при этом сажа требует применения специальных мер при откачке и напуске воздуха.

3. При металлотермическом восстановлении выход кальция зависит от превышения температуры восстановления над температурой плавления (температурой ликвидуса) восстановителя и его индивидуальных свойств. Стоимость восстановителя может быть снижена, например, за счет введения в алюминий железного порошка.

#### Литература:

1. Обзор рынка кальция металлического в России и мире. <http://www.infomine.ru>. август 2011 г. — 102 с.

2. Кулифеев В. К., Кропачев А. Н., Божко Г. Г., Елсукова М. А. Термодинамический анализ системы  $\text{CaCO}_3$  —  $\text{CaO}$  —  $\text{C}$  при карботермическом восстановлении кальция в вакууме. Сб научн. трудов SWorld «Перспективные инновации в науке, образовании и транспорте» Одесса, 2012, вып.2, т.8, с. 66–72.
3. [http://www.chemservice.ru/materials/karbid\\_kalcija/](http://www.chemservice.ru/materials/karbid_kalcija/) (дата обращения 19.08.13)
4. Пакет программ FACT-Win/F\*A\*C\*T and ChemSage/SOLGASMIX — <http://www.crct.polymtl.ca/fact/documentation/>
5. Ватулин И. И., Минков О. Б., Сухарев А. В. и др. Высокотемпературное алюминотермическое восстановление оксида кальция.// Материаловедение, 2009, № 3, с. 46–50.
6. Кулифеев В. К., Кропачев А. Н., Миклушевский В. В., Ватулин И. И. Технология алюминотермического получения кальция и аппаратное оформление процесса// Цветные металлы, 2004, № 10, с. 58–61.
7. Schwandt C. S., Cygan R. T., Westrich H. R. Ca self-diffusion in grossular garnet// American Mineralogist, 1996, vol. 81, pp. 448–451.



## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

### Методы защиты авиационных ГТД от вредных воздействий окружающей среды в эксплуатации

Биксаев Айрат Шафкатович, лаборант;

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Калимуллин Радик Рифкатович, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Белобровина Марина Викторовна, лаборант

Уфимский государственный авиационный технический университет

В связи с постоянным расширением областей применения авиационной техники постоянно увеличивается географический ареал ее применения. Почти всегда в новых местах базирования качество аэродромов и агрессивные факторы окружающей среды (пыль, влажность, повышенное содержание соли) негативно сказываются на состоянии рабочих органов авиационных двигателей и движителей, особенно ГТД, что связано с особенностью их рабочего цикла. Требования безопасности и экономической целесообразности требуют проведения различных организационных, конструктивных и технологических мероприятий по минимизации негативных воздействий среды эксплуатации на авиационную технику.

Атмосферный воздух, засасываемый в ГТУ, не является абсолютно чистым. В нем всегда содержатся твердые или жидкие аэрозоли, влага в виде паров или тумана. Источниками их являются почвенная пыль, вулканическая пыль и газы, речная, морская и атмосферная влага, пыльца и семена растений.

Концентрация и фракционный состав частиц естественной пыли в атмосфере зависят от характера почвы и скорости ветра. Мелкодисперсная пыль распределяется в приземном слое воздуха равномерно; количество крупных частиц, составляющих основную массу пыли в периоды пыльных бурь на уровне земли, резко возрастает.

Образующиеся в проточной части компрессоров отложения, в которые переходят загрязняющие воздух вещества, содержат много (27–85 %) органических соединений, в том числе до 30 % — экстрагируемых эфиром (масел). В органической части отложений кроме углевода (16–28 %) были обнаруживаются азот и кислород (20–43 %), водород (3 %) и сера (до 8 %).

Работа газотурбинного двигателя характеризуется большими расходами рабочего тела, — воздуха, который одновременно является и окружающей средой. Именно поэтому к его качеству предъявляются очень серьезные

требования. Наиболее вредными с точки зрения режима работы и повреждаемости ГТД являются следующие факторы окружающей среды:

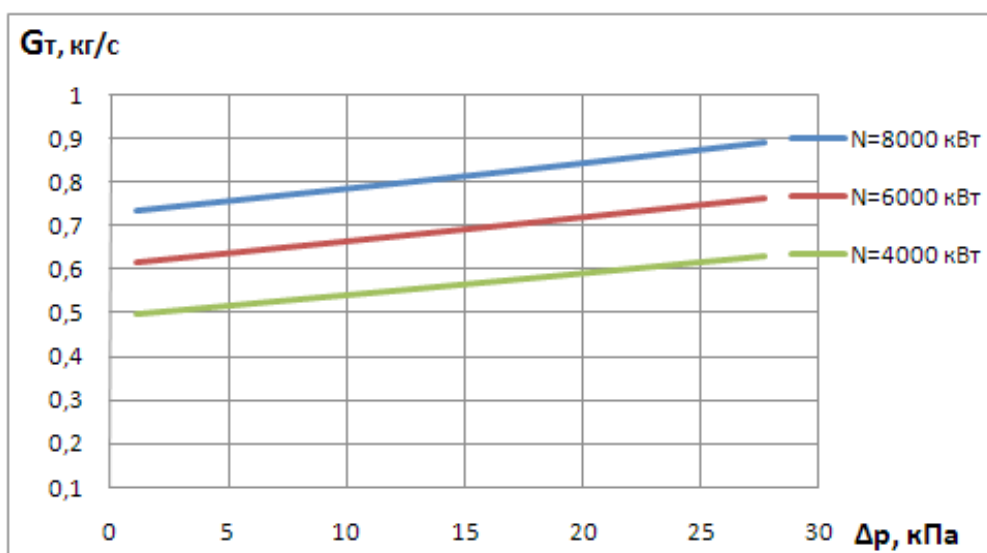
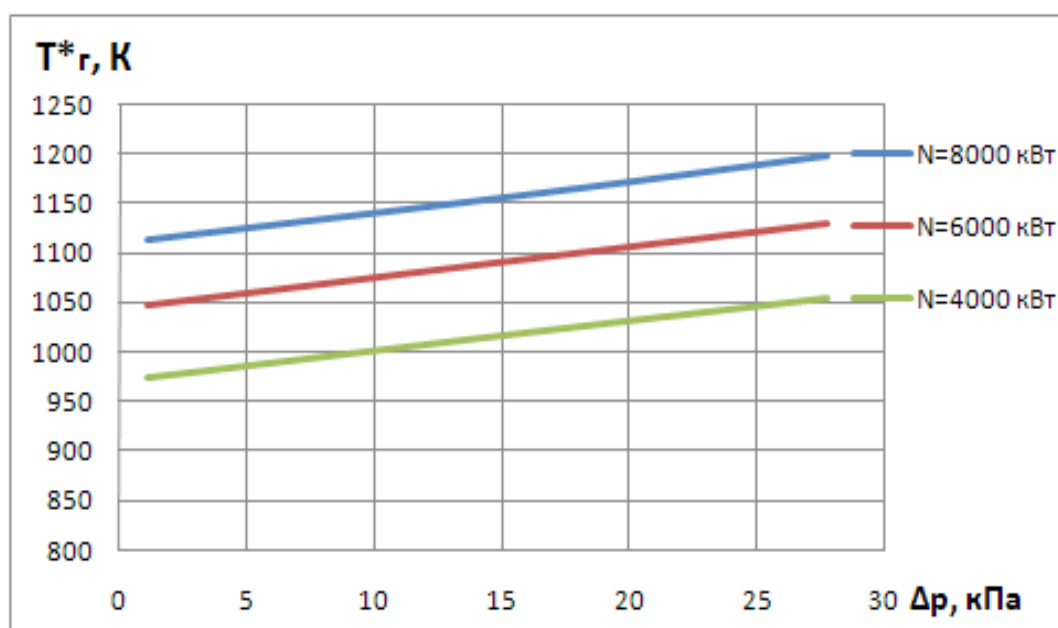
- запыленность атмосферы — приводит к абразивному износу лопаток и минеральным отложениям на них;

- работа в условиях повышенной влажности и водности атмосферного воздуха — меняется режим работы двигателя, возникает опасность останова двигателя из-за залива камеры сгорания;

- работа в условиях морской среды — наблюдаются отложения солей на лопатках компрессора и турбины, что может привести к пережогу ТВД, сильно усиливается коррозия элементов газотурбинного двигателя; Запыленность изменяет пропускную способность газозооушного тракта ГТД и повышает гидравлические потери в нем. На рисунке 1 приведены результаты моделирования потерь полного давления в тракте ГТД и ухудшения показателей силовой установки с ростом гидравлических потерь. Рост температуры газов перед турбиной (рис. 2), для сохранения мощности (тяги) при увеличении потерь в тракте неминуемо ведет к снижению ресурса и в невозполнимой потере мощности при достижении ограничения по температуре газов за основной камерой сгорания.

- неравномерность теплового поля перед входным устройством — приводит к снижению мощности двигателя, повышается возможность перегрева двигателя.

Процесс эрозии лопаток зависит отряда факторов: размера частичек пыли, материала лопатки и угла попадания частиц. При высокой запыленности (например, в вертолетных ГТД) наблюдается равномерный износ лопаток первых ступеней и усиленный износ периферийных участков лопаток последних ступеней. При умеренном среднем пылесодержании воздуха износ лопаток носит локальный характер и зависит от особенностей течения, которые вызывают местное увеличение концентрации частиц и их скорости относительно лопаток.

Рис. 1. Зависимость расхода топлива  $G_T$  в камере сгорания от гидравлических потерь в выходном трактеРис. 2. Зависимость температуры газа  $T^*_r$  за камерой сгорания от гидравлических потерь в выходном тракте

Износ лопаток компрессора приводит к изменению аэродинамического профиля и увеличению шероховатости поверхности лопатки. В результате уменьшаются  $\eta_k$ ,  $\pi_k$ ,  $G_{впр}$  и запасы ГДУ отдельных ступеней и компрессора в целом.

Полученное снижение  $\eta_k$  в работе объясняется в основном потерями, обусловленными износом, связанным с затуплением входных кромок, и, в меньшей мере, изменением остальной части профиля, а также увеличением шероховатости поверхности. Особую опасность представляет то, что места абразивного изнашивания лопаток являются сильными концентраторами напряжения, что может существенно понизить запасы

прочности лопаток. В первую очередь это относится к титановым сплавам.

Отложения образует сравнительно небольшая по массе часть пыли, содержащейся в воздухе. Способность пыли образовывать отложения зависит от ее химического состава и физических свойств. Мелкая (<5 мкм) липкая пыль промышленных районов, содержащая много органических веществ и масел, быстрее образует отложения, чем сухая минеральная пыль.

Одним из направлений технологического обеспечения высокой эрозионной стойкости рабочих лопаток компрессора вертолетных ГТД является нанесение эрозионностойкого покрытия на поверхность пера.

Известны методы нанесения покрытий на поверхности деталей, в частности, детонационные, химико-термические, гальванические, диффузионные, осажденные из газовой и твердой фазы и др., которые отличаются физико-химическими процессами формирования, обеспечивающими различные их свойства и области применения.

Износ лопаток с покрытием обычно начинается позже, наблюдается инкубационный период, величина которого различна, для разных покрытий. Замедленный износ образцов продолжается вплоть до изнашивания слоя защитного покрытия. Необходимо отметить, что пропорционального увеличения инкубационного периода, (когда масса образца в процессе испытания не меняется) с увеличением толщины покрытия, не наблюдается.

Возможные меры увеличения сопротивляемости износу, такие как применение стальных лопаток и специальных покрытий, несколько замедляют износ, но не решают проблему. Более того, по мере создания все более совершенных новых двигателей с высокими параметрами и большими окружными скоростями в ступенях эта проблема только обостряется. Основным методом ее решения является введение очистки от пыли воздуха на входе в двигатель в пылезащитном устройстве (ПЗУ). ПЗУ различают трех типов: барьерного, центробежного и инерционного.

В двигатели гидросамолетов, самолетов-амфибий и вертолетов морского базирования могут попадать свободные частицы соли или капли воды, находящиеся под действием различных возмущений в воздухе вблизи от поверхности моря. В ряде случаев даже в спокойную погоду летательный аппарат сам является источником образования вокруг воздушной среды с взвешенными в ней каплями морской воды.

Коррозионное повреждение холодных и умеренно нагретых деталей происходит при непосредственном воздействии солевых аэрозолей, образующихся при выпари-

вании воды в тракте газотурбинного двигателя. Наружные поверхности двигателя защищают от коррозии, применяя специальные покрытия и исключая применение в деталях легких магниевых сплавов. Элементы проточной части также защищают от коррозии специальными покрытиями либо применяют титановые сплавы.

Эксплуатация газотурбинных двигателей показывает, что на некоторых режимах работы в ветреную погоду на земле возможно попадание части выхлопных газов в воздухозаборник. Это объясняется размытием выхлопной струи встречным ветром и последующим перемешиванием его с потоками, окружающими летательный аппарат. В некоторых случаях подогретый таким образом воздух попадает на воздухозаборники. Повышение температуры не постоянное, а пульсационное, из-за непостоянства скорости ветра.

Общее повышение температуры воздуха наиболее неблагоприятно сказывается летом при повышенной наружной температуре, так как приводит к дополнительному снижению максимальной мощности двигателя. Общее повышение температуры воздуха на входе в двигатели из-за забрасывания выпускных газов может достигать 10...15 °С при максимальном подогреве отдельных участков на 25...30 °С. Соответствующее дополнительное уменьшение максимальной мощности двигателя в летних условиях составляет 8...10 %.

Неравномерное температурное поле на входе также снижает запас по газодинамической устойчивости компрессора: чем больше температурная неравномерность, тем меньше запас по ГДУ. Такая ситуация характерна для применения бортового оружия и полета на низкой высоте в зоне пожара. Самым надежным способом борьбы с негативными последствиями этого явления является ограничение подачи топлива в ОКС, что обеспечивается САР двигателя.

#### Литература:

1. Богуслаев В. А., Муравченко Ф. М., Жеманюк П. Д., Яценко В. К., Качан А. Я., Цивирко Э. И., Орлов М. Р., Замковой В. Е., Мозговой В. Ф., Рубель О. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I.: Монография. — Запорожье, изд. «Мотор Сич», 2003. — 396 с.
2. Вертолетные газотурбинные двигатели/Григорьев В. А., Зрелов В. А., Игнаткин Ю. М. и др.; под общ. ред. Григорьева В. А. и Пономарева. — М: Машиностроение, 2007. — 491 с.
3. Тарасенко Ю. П., Царева И. Н., Кривина Л. А. Повышение надежности и ресурса компрессорных лопаток газотурбинных двигателей газоперекачивающих агрегатов/Вестник научно-технического развития — М: «Национальная Технологическая Группа, 2011 № 2 с. 57—62
4. Марчуков Е. Ю., Онищик И. И. и др. Испытания и обеспечение надежности авиационных двигателей и энергетических установок, 336 стр., М: Изд-во МАИ., 2004 год
5. Барвинок В. А., Шитарев И. Л., Богданович В. И., Докукина И. А., Карасёв В. М. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины, компрессора и камеры сгорания ГТД/Вестник СГАУ — Самара: СГАУ, 2009 № 4 с. 11—28

## Возможность и перспективы использования нанотехнологии в авиационной отрасли

Давлетьяров Рустам Зуфарович, студент  
Оренбургский государственный университет

Программа «развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 годы и на период до 2015 года» предусматривает разработку перспективной авиационной техники, повышающие технико-экономические показатели современных летательных аппаратов на 20... 25 %. В связи с этим необходимо разработать конструкторские и технологические решения, касающиеся всех агрегатов и систем воздушных судов. Возможности обычных методов и традиционных материалов, применяемых при проектировании летательной техники, постепенно приближаются к насыщению. В результате продвижения вперед замедляется, требуя все больших усилий и материальных затрат.

В последние годы стремительно развивается новое направление науки и техники нанотехнология. Рассмотрим перспективы использования достижений нанотехнологии в решении задач, стоящих перед авиационной отраслью.

Потенциальные выгоды от применения нанотехнологии заключаются в использовании наноструктурированных материалов с высокими эксплуатационными качествами. Это позволит создать более легкую и эффективную технику с уменьшенными потреблением энергии и влиянием на окружающую среду. Правительства промышленно развитых стран уделяют большое внимание развитию этого направления.

В 2001 г. Администрация США приняла программу «Национальная инициатива в области нанотехнологии: путь к новой промышленной революции». Программе присвоена самая высокая степень научно-технической важности; за последние пять лет финансирование по этим направлениям науки и техники увеличилось в 10 раз.

Интенсивные исследования по нанотехнологии ведутся и в Европе. В частности в Германии создано восемь научных центров, которые активно занимаются проблемами нанотехнологии.

Наиболее ощутимый эффект возможен от использования нанотехнологии в авиации по направлениям представленным на рис. 1.

**Прочность.** Прежде всего — это вопрос прочности конструкции. Создание алюминиевых и титановых сплавов, армированных углеродными нанотрубками, напылений в зоне концентраторов напряжения, разработка авиационных конструкций, в том числе композитных конструкций, которые используют наноэлементы. Все это задачи, представляющие наиболее перспективное и быстрое продвигаемое направление, способное дать существенный эффект.

Использование современных конструкционных материалов ограничено тем, что увеличение прочности приводит к снижению пластичности. Преимуществом материалов с наноразмерной структурой является повышенная пластичность с возможностью снижения в них остаточных напряжений.

Например, наносплавы на основе титана обеспечивают увеличение относительных деформаций в диапазоне 20...35 % при увеличении прочности приблизительно в два раза. За счет использования нанотехнологии в ближайшем десятилетии прогнозируются увеличение прочности основных конструкций металлов в 1,5–3 раза.

Получение массивных нанокристаллических заготовок с равномерной структурой (без пор, микротрещин и других дефектов) дает возможность обеспечить стабильность



Рис. 1. Основные направления использования нанотехнологии в авиации

свойств и более точно определить несущую способность материала. Это позволит снизить массу конструкции. Ресурс изделий для авиации, изготовленных по нанотехнологиям, повышается на 200...500 %.

В настоящее время при решении задач прочности и управления деформациями конструкций наилучших характеристик элементов и устройств можно достичь путем использования композиционных материалов.

Научно-технические предпосылки использования наномодифицированных композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов связаны с характеристиками углеродных нанотрубок (УНТ), прочностные характеристики которых в сравнении со сталью приведены ниже:

УНТ Сталь

Модуль Юнга, Па.....1,28...1,8 · 10<sup>12</sup> 0,21 · 10<sup>12</sup>

Прочность на разрыв, ГПа.....45 · 10<sup>9</sup> 2 · 10<sup>9</sup>

Использовать УНТ непосредственно в конструкциях невозможно, но применение этих трубок в качестве наполнителя — упрочнителя в композиционных материалах весьма эффективно не только из-за их необычайной прочности, но так же вследствие увеличения площади межфазной границы нанокompозитов по сравнению с наполнителями обычных размеров. При изменении размеров наполнителя от микрон до нанометров площадь межфазной границы при той же объемной доле может увеличиться более чем в 30 раз.

Расчетно-экспериментальные исследования показывают, что долговечность образца с концентратором напряжений в виде отверстия определяется процессом роста существующих микротрещин, расположенных на кромках и на поверхности отверстия.

При сборке планера большого пассажирского самолета сверлится несколько миллионов отверстий, которые являются концентраторами напряжений. При сверлении отверстий в них образуются множество технологических микродефектов (микротрещин). При циклическом нагружении процессе эксплуатации эти микродефекты развиваются, значительно сокращая ресурсы самолета. Исследование образцов алюминиевых сплавов показали существенную зависимость долговечности (N — число циклов) от размера начального микродефекта.

Можно предполагать, что нанесение бездефектных слоев наноструктурированного материала на кромки и на поверхность отверстия приведет к повышению прочности, долговечности и живучести за счет комплексного воздействия, а именно:

- при нанесении нанослоев возможно самозалечивание существующих микротрещин на поверхности и на кромках концентратора напряжений;

- нанесенный слой своим присутствием может сдвигать зону материала с микротрещинами в область меньшей концентрации напряжений;

- этот слой может защищать от влияния окружающей коррозионной среды материал в зоне концентрации на-

пряжений и тем самым замедлять процесс роста микротрещин.

Методика формирования наноструктуры материала в виде бездефектных слоев и пленок близка к практическому использованию.

**Аэродинамика.** Снижение сопротивления летательных аппаратов является важнейшей задачей аэродинамики. Уменьшение сопротивления самолетов, выполняющих длительный крейсерский полет, приводит к значительному снижению расхода топлива.

Величину сопротивления современного транспортного самолета можно разделить на две составляющие, имеющие разную физическую природу: сопротивление давления и сопротивление трения. На каждую из них приходится примерно половина общего сопротивления самолета.

Сопротивление трения может быть уменьшено на 80 %, если изменить режим течения в пограничном слое на всей поверхности летательного аппарата с турбулентного ламинарный. В связи с этим необходимо создание устройств для ламинаризации пограничного слоя. По оценкам специалистов, с их помощью можно получить ламинарное обтекание 30 % площади крыла и оперения самолета, что приведет к снижению сопротивления трения 25 % и полного сопротивления — на 10 %.

Специалисты ЦАГИ разработали систему, с помощью которой можно управлять пограничным слоем посредством гибкой ленты шириной ~10 мм и толщиной 0,1...1 мм, наклеиваемой на поверхность крыла самолета параллельно его передней кромке. Лента должна иметь разъемы для подключения компьютера, который управляет работой системы в соответствии с характеристиками пограничного слоя в месте установки.

Действие устройства заключается в уменьшении на 1—2 порядка амплитуды неустойчивых возмущений, проходящих над лентой. В результате пограничный слой должен оставаться ламинарным на расстоянии 20...50 см за лентой (при условии ламинарного течения перед ней). На поверхности ленты должны быть расположено большое количество сенсоров и актуаторов (исполнительных механизмов, вносящих малые возмущения в пограничный слой). В качестве актуаторов можно использовать микронные полости с пьезокристаллом, вибрации которого образуют вихревую пару, равную по амплитуде и обратную по направлению вращения возмущениям пограничного слоя. Заданную связь между сигналами датчиков и действием актуаторов осуществляет микросхема, расположенная внутри ленты.

Характерные размеры актуаторов и сенсоров должны быть порядка 100 мкм. (При их изготовлении необходимо использовать нанотехнологии.) Рынок сбыта таких устройств очень велик, поскольку они позволяют существенно повысить экономичность не только новых, но и находящихся в эксплуатации самолетов.

В настоящее время в ЦАГИ построен простой и эффективный алгоритм системы управления пограничным



слоем при распределенном расположении бесконечно малых актуаторов и сенсоров [2]. Имеются необходимый математический аппарат и программные средства разработки таких алгоритмов для актуаторов и сенсоров конечных размеров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

Возможно также применение нанотехнологий для непосредственного изменения свойств аэродинамической поверхности. Ученые ЦАГИ разработали и проверили экспериментально методику наномодификаций поверхности различных металлов с помощью ионной имплантации [3]. Эксперимент показал (рис. 2), что за счет имплантирования ионов некоторых металлов можно существенно повлиять на величину коэффициента аккомодации  $\alpha_\varepsilon$ :

$$\alpha_\varepsilon = q_1/q_0 \text{ где } q_1 \text{ — поглощенная мощность;}$$

$$q_0 = \rho U_\infty^3/2.$$

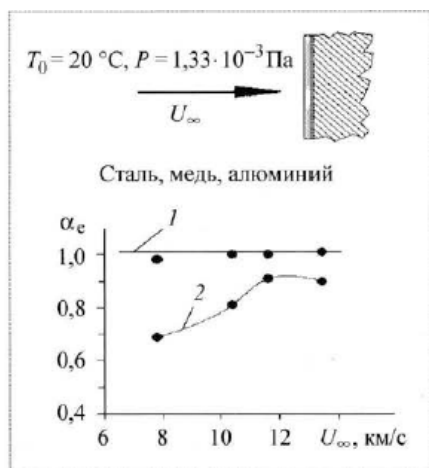


Рис. 2. Изменение коэффициента аккомодации с помощью нанотехнологии (1-исходная поверхность; 2-модифицированная поверхность)

Это есть прямой путь к решению задачи, связанной, в частности, с уменьшением коэффициента трения.

Разработанная методика ионной имплантации также может повлиять на коэффициент теплопередачи. Было доказано, что при испытании модифицированного образца, в поверхность которого внедрены ионы соответствующих материалов, коэффициент теплопередачи уменьшается на 15 %.

Актуален также вопрос защиты самолета от обледенения, который напрямую связан с проблемой безопасности и технического обслуживания. На рис. 3 показано влияние толщины обледенения передней кромки крыла на зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки (получено при испытаниях модели в аэродинамической трубе). Наличие даже небольшого количества льда на передней кромки может привести к существенному снижению максимального значения коэффициента подь-

емной силы, что негативно влияет на условия взлета или посадки.

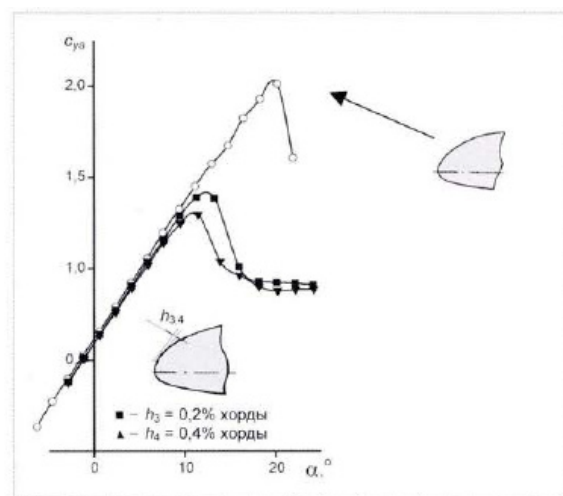


Рис. 3. Влияние льда различной толщины на зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки  $\alpha$

По нашим оценкам, нанотехнологические методы создания гидрофобных поверхностей позволяет существенно продвинуться в решении проблемы обледенения. Для этого необходимо создать такую гидрофобную поверхность или пленку, наклеиваемую на переднюю кромку крыла, которая препятствовала бы образованию льда, а в случае его появления полностью устраняло бы его с помощью нагрева или деформации формы.

Например, можно разработать многослойное покрытие, состоящее из очень тонких пластинок-«чешуек», которые отделяются от поверхности при достаточном малом касательном напряжении. Появившийся на такой поверхности лед должен сдуваться потоком. Такая поверхность должна легко очищаться от прилипшей грязи и насекомых, что даст дополнительную возможность обеспечить в процессе эксплуатации гладкую поверхность самолета, необходимую для снижения сопротивления трения.

Известно, что гидрофобная поверхность не является абсолютно гладкой, а обладает шероховатостью определенного размера. Подобной поверхностью обладает лист индийского лотоса (рис. 4). Как показали эксперименты, проведенные в гидроканале, искусственно созданная в лабораторных условиях шероховатость поверхности лотоса на различных телах позволила снизить сопротивления трения на 15...20 % [4]. Размер этой шероховатости находится ниже уровня аэродинамической гладкости, поэтому ее можно использовать для устранения обледенения на передних кромках крыльев и воздушных винтов. Если такая поверхность будет иметь переменную шероховатость, то капля начнет двигаться в сторону лучшей смачиваемости (т. е. меньшей гидрофобности), что окажет благоприятное действие в районе точки торможения, где касательные к поверхности скорости потока малы.



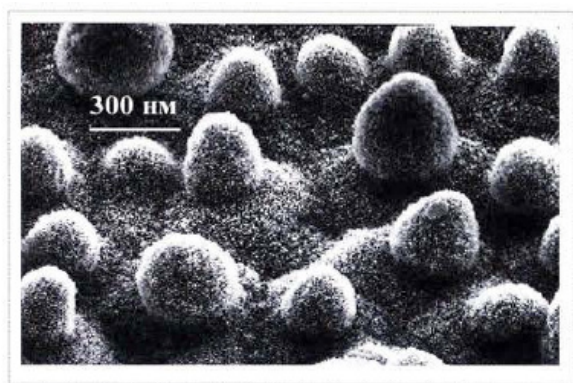


Рис. 4. Наноструктурная поверхность листа лотоса, полученная с помощью электронного сканирующего микроскопа [4]

**Заметность.** Третьей областью применения нанотехнологий является создание наноструктурных суперпоглощающих покрытий для решения важной задачи — снижения заметности летательных аппаратов в широком диапазоне длин волн. Говоря об оптической и радиозаметности можно утверждать, что на этом пути нас ожидают прорывные решения, которые обеспечат существенное повышение эффективности боевой техники.

При проектировании летательных аппаратов с пониженным уровнем заметности не всегда можно добиться успеха только за счет выбора компоновочной схемы и придания ЛА малоотражающей формы. Множество ограничений и требований, предъявляемых к ЛА в части аэродинамики, прочности, управляемости и т. д., не позволяют в полной мере использовать многие компоновочно — конструктивные способы снижения заметности. В ряде случаев возникает необходимость изготовления элементов ЛА из конструкционных поглощающих материалов или нанесения на эти элементы несилевых поглощающих покрытий.

Основным техническим решением снижения заметности корпуса таких тел является использование селективных покрытий. Использование штатных лакокрасочных покрытий не привело к решению проблемы. Исследования показали, что по истечению нескольких месяцев после нанесения такого покрытия поверхность становится практически матовой. В связи с этим при разработке новых покрытий одним из основных требований является обеспечение устойчивых отражательных свойств.

При формировании требований к оптическим свойствам разрабатываемых покрытий использования традиционных интегральных коэффициентов поглощения и отражения недостаточно, поскольку при этом не учитывается направленность оптических свойств материала. К указанным характеристикам необходимо добавить направленный коэффициент излучения и двунаправленный коэффициент яркости.

Сложность проблемы снижения заметности состоит в том, что поглощающие материалы должны быть следующими:

- достаточно легкими, чтобы не увеличивать массу аппарата;
- иметь малый коэффициент отражения в широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения;
- практичными в эксплуатации при различных климатических условиях;
- доступными при ремонте.

Предварительные оценки показывают, что при уменьшении поверхности поглощающих элементов до некоторых критических, магнитные и электрические свойства поверхности получают качественные изменения. Таким образом, с использованием последних достижений в нанотехнологии появляется возможность создания поглощающих структур на основе новых физических принципов. Для этой цели могут быть использованы, например, слои полимерных матриц с наполнителями в виде линейных (нанотрубки, волокна, микропровод), поверхностных (чешуйки, пленки) и объемных (фуллерены, микросферы) элементов. Слои из таких пленок будут обладать качественно новыми радиопоглощающими свойствами.

**Измерительные системы.** Четвертая область применения нанотехнологий связана с проведением экспериментальных исследований, необходимых при разработке новой авиационной техники. Прежде всего это модели для аэродинамического эксперимента и измерительная аппаратура, т. е. датчики для измерения давления, трения, температуры на основе нано- и MEMS — технологий. Измерительная аппаратура требуется не только для проведения эксперимента на моделях в аэродинамических трубах, но и для летательных аппаратов.

В настоящее время состояние самолета контролируется по общим интегральным характеристикам, и в процессе полета нельзя получить точную информацию о состоянии конструкции и условиях обтекания в конкретной точке самолета. Решения задачи глобального мониторинга параметров обтекания самолетов возможно на основе использования нано- и MEMS — датчиков, которые могут дать точную и объемную информацию о состоянии конструкции и потока и мерах воздействия на это состояние с точки зрения улучшения условий работы несущих элементов самолета.

В рамках экспериментальных исследований динамически подобных моделей наиболее трудной задачей является создание модели, соответствующей натурному объекту и точно воспроизводящей все необходимые упругомассовые характеристики [5]. В этом случае очень часто приходится сталкиваться с перетяжением модели относительно натурального объекта. Коэффициент перетяжения может составлять от 1,3 до 2. Это означает, что масса модели может быть превышена на 30...100 %. Неточность при моделировании свойств натурального объекта будет отрицательно сказываться на достоверности результатов экспериментов.

Избежать этого нежелательного явления можно, если применить материалы с более высоким удельным модулем упругости — например, углеродные наноконпо-

зиты с комплексом свойств, превосходящих свойств материалов натурной конструкции. Итак моделирование ЛА — это одна из областей научных и экспериментальных

исследований, где впервые могут быть применены новые разрабатываемый на основе нанотехнологий полимерные композиционные и другие конструкционные материалы.

#### *Литература:*

1. Доценко А. М., Полякова А. Н., Мишин В. И., Горячев В. И. Влияние технологии на долговечность образца с отверстием // *Авиационная промышленность*. 1990. № 7. С. 75–78.
2. Мануйлович С. В. Об одном методе активного подавления волн неустойчивости в ламинарном пограничном слое // *Докл. АН*. 2006. Т. 406. № 3. С. 337–340.
3. Kogan M. N., Skvortsov V. V., Zabolotny V. T., Uspenskii A. A. Using of ion technology for reducing aerodynamic heating // *Journal of Advances Materials*. 1994. 1 (3). P. 246–252.
4. Balasubramanian A., Miller A., Traub L., Rediniotis O. K. Biomimetic Nanostructure Skin For Hydrodynamic Drag Reduction // *AIAA 2003–785*. 41<sup>st</sup> Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 6–9 January 2003, Reno, Nevada.
5. Смотров С. А. Об использовании наноматериалов и нанотехнологий для изготовления конструкций ДПМ, применяемых при изучении явлений аэроупругости в АДТ // *Тр. ЦАГИ*. Вып. 2675. 2007. С. 188–193

## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

### Обоснование применения системы автоматически регулируемого освещения на базе светодиодов при производстве землеройно-транспортных работ

Кудрявцев Евгений Михайлович, доктор технических наук, профессор;

Ульянов Роман Сергеевич, студент магистратуры;

Шиколенко Илья Андреевич, студент магистратуры

Московский государственный строительный университет

В данной работе приводится обоснование применения автоматически регулируемой системы освещения дорожной трассы при производстве землеройно-транспортных работ в условиях отсутствия естественного освещения. Для обоснования эффективности применения систем автоматически управляемого светодиодного освещения систем общего наружного и локального освещения в ночную смену была разработана имитационная модель технологического процесса землеройно-транспортных работ. Рассмотрим модель процесса. Данная модель представляет собой описание процесса разработки грунта, с последующей его выемкой, погрузкой в автосамосвалы и транспортировкой за пределы системы. В зоне разработки грунта находится определенное и неизменное количество единиц землеройной техники, в известный усредненный промежуток времени из внешних границ системы в зону производства работ приходят автосамосвалы. Автосамосвалы встают в очередь под погрузку и по завершении данного процесса по многополосной трассе отправляются за границы рассматриваемой системы. Многополосная трасса разделена на три участка, первый участок имеет три полосы движения, последующие участки — две полосы. Трехполосный участок дороги оснащается установками автоматического светодиодного освещения в два ряда, по каждой стороне проезжей части. Участки с двухполосным движением оснащаются установками автома-

тического светодиодного освещения в один ряд, по одной из сторон проезжей части или в 2 ряда в шахматном порядке при условии сохранения количества светильников идентичного установке в один ряд. Участки подъезда и выезда с трассы не оснащаются автоматическими установками освещения и в данной модели не рассматриваются. Схема прохождения процесса и параметры исследуемых участков представлена на рисунке 1.

Критерием для оптимизации примем время работы оборудования освещения трассы в течение одной ночной смены. Коэффициент использования осветительного оборудования непосредственно связан с загруженностью участков трассы.

Рассчитаем технико-экономические показатели процесса при условии обеспечения работы во включенном режиме в течение всего времени смены. В соответствии с СП 52.13330 [1] минимальная освещенность дорожного полотна в данном случае составит 2 лк. Исходя из этого условное осветительное оборудование, состоящее из группы светодиодных светильников с интенсивностью излучения 17000 лм, расположенных на опоре высотой 9 метров, обеспечивает нормативную освещенность. Для случая с двухполосной дорогой предполагается установка 2 светодиодных светильников, на мачту освещения, мачты освещения устанавливаются в два ряда чередуясь в шахматном порядке. В случае с тремя полосами для движения

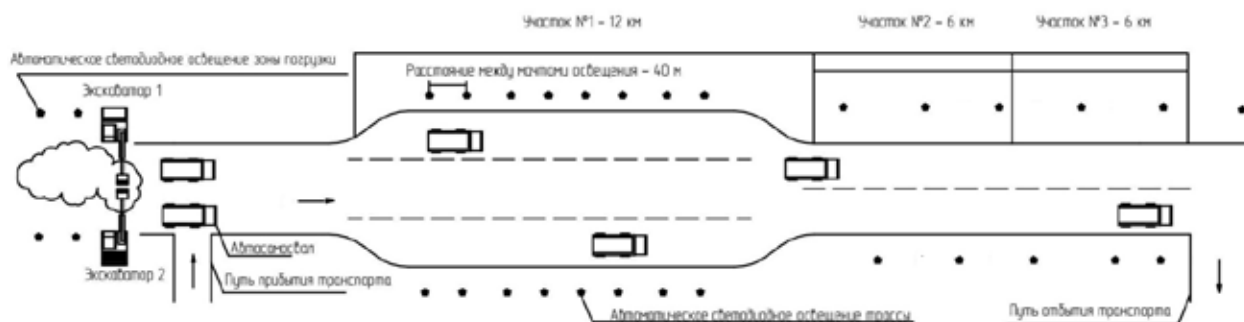


Рис. 1. Схема прохождения процесса

транспорта, предполагается размещение осветительных опор в два сплошных ряда. Энергопотребление одной осветительной конструкции составит 400 Ватт. Количество осветительных установок на каждом участке трассы рассчитывается по формуле 1. Сводные результаты расчетов будут представлены в таблице 2

$$n_{cv} = (L_{уч} * r) / l_{мо} \quad (1)$$

Где:  $n_{cv}$  — количество светильников на участке (шт.);  $L_{уч}$  — длина участка (м);  $l_{мо}$  — расстояние между опорами освещения (м);  $r$  — количество рядов светильников;

Общее потребление каждого участка трассы рассчитывается по формуле 2

$$N_{wi} = n_{cv} * P_{cv} \quad (2)$$

Где:  $n_{cv}$  — количество светильников на участке (шт.);  $P_{cv}$  — Мощность потребляемая одной установкой (Вт);  $N_{wi}$  — Суммарная мощность потребляемая осветительными приборами участка (Вт);

Примем время одной ночной смены равное 8 часам, тогда расход электроэнергии за смену рассчитывается по формуле 3.

$$Q_w = N_{wi} * t \quad (3)$$

Где:  $Q_w$  — тогда расход электроэнергии за смену кВт\*час;  $t$  — продолжительность смены в часах

На основании тарифов МОЭСК от 01.2012 г. [3] для потребителей низкого напряжения в московской области стоимость 1 кВт\*час составляет 1.93 руб.

Для нахождения оптимальных режимов работы осветительного оборудования построим имитационную модели указанного процесса, с помощью GPSS-World. Рассмотрим условия функционирования имитационной модели. В данной модели в соответствии со схемой прохождения процесса по производству землеройных работ, и транспортировке грунта, указанной на рисунке 2 создается имитация технологического процесса в течении восьми часов рабочей смены. В разомкнутой системе функционирования многоканального комплекта машин, число рабочего оборудования известно изначально и остается неизменным на протяжении всего процесса. Число транспортных средств в системе изначально не известно, однако известно среднее время прибытия автосамосвала в систему. Предположим, что для обеспечения безопасности движения транспорта,

необходимо принять ограничение на количество машин одновременно присутствующих на трассе, равное одному автосамосвалу на одной полосе соответствующего участка трассы. Временные характеристики данного технологического процесса указаны в минутах и отражаются с помощью блоков модели — ADVANCE, GENERATE 480, TERMINATE 1, START 1. Для наглядности восприятия модели рассмотрим рисунок 4.

Рассмотрим все события, происходящие в многоканальном комплекте машин:

1. Прибытие автосамосвала из внешних границ системы
2. Поступление автосамосвала в систему
3. Вход автосамосвала в зону землеройных работ
4. Передача автосамосвала одному из свободных экскаваторов
5. Определение свободного экскаватора
6. Выход из зоны землеройных работ непосредственно под погрузку
7. Моделирование времени погрузки автосамосвала экскаватором
8. Освобождение экскаватора и выход из зоны землеройных работ
9. Выезд автосамосвала на первый участок трассы
10. Поиск автосамосвалом свободной полосы
11. Определение свободной полосы
12. Выезд на участок трассы по выбранной полосе
13. Моделирование времени движения по участку трассы
14. Выход из первого участка трассы
15. Поступление автосамосвала на второй участок трассы
16. Поиск и определение автосамосвалом свободной полосы
17. Выезд на участок трассы по выбранной полосе
18. Моделирование времени движения по участку трассы
19. Выход из второго участка трассы
20. Поступление автосамосвала на третий участок трассы
21. Поиск и определение автосамосвалом свободной полосы
22. Выезд на участок трассы по выбранной полосе
23. Моделирование времени движения по участку трассы
24. Выход из третьего участка трассы
25. Автосамосвал покидает границы системы.

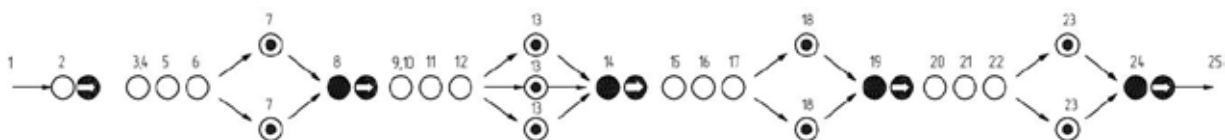


Рис. 2. Процесс функционирования многоканального разомкнутого комплекта машин

Исходный код модели представлен ниже:

; Имитационная модель процесса разработки, погрузки и транспортировки грунта,

; с применением комплекта машин экскаватор автосамосвал.

GW STORAGE 2; Вместимость накопителя — Земляные работы

ROAD1 STORAGE 3; Вместимость накопителя — трехполосная дорога участок 1

ROAD2 STORAGE 2; Вместимость накопителя — двухполосная дорога участок 2

ROAD3 STORAGE 2; Вместимость накопителя — двухполосная дорога участок 3

\*\*\*\*\*

GENERATE 4,2 ; Определение числа обслуживаемых машин. Одна машина поступает в среднем каждые четыре минуты

ADVANCE 3,1,, ; Время прибытия машины в систему.

ENTER GW ; Вход машины в накопитель под именем NAK.

TRANSFER ALL,KAN1,KAN2,3 ; Переход машин к свободному каналу.

KAN1 SEIZE EKS1 ; Определение занятости экскаватора 1 (EKS 1)

ASSIGN 1,EKS1 ; Поступление на обслуживание в EKS1

TRANSFER ,COME ; Переход машины к оператору с меткой COME.

KAN2 SEIZE EKS2 ; Определение занятости экскаватора 1 (EKS 2)

ASSIGN 1,EKS2 ; Поступление на обслуживание в EKS2 COME

LEAVE GW ; Выход машины из накопителя

ADVANCE (Exponential(1,1,8.5)) ; Время обслуживания машины.

RELEASE P1 ; Освобождение канала обслуживания.

ENTER ROAD1 ; Выход машины на первый участок трассы

TRANSFER ALL,ROAD1\_1,ROAD1\_3,3 ; Переход машин к свободному каналу.

ROAD1\_1 SEIZE WAY1\_1 ; Определение занятости полосы 1 участка дороги 1  
WAY1\_1.

ASSIGN 1,WAY1\_1 ; Занять первую полосу движения

TRANSFER ,COME2 ; Переход машины к оператору с меткой COME2.

ROAD1\_2 SEIZE WAY1\_2 ; Определение занятости полосы 2 участка дороги 1  
WAY1\_2.

ASSIGN 1,WAY1\_2 ; Занять вторую полосу движения

TRANSFER ,COME2 ; Переход машины к оператору с меткой COME2.

ROAD1\_3 SEIZE WAY1\_3 ; Определение занятости полосы 3 участка дороги 1 WAY1\_3.

ASSIGN 1,WAY1\_3 ; Занять третью полосу движения



COME2	LEAVE	ROAD1	; Покинуть начало участка трассы	
	ADVANCE	(Exponential(1,1,10))	; Время в пути по участку трассы.	
	RELEASE	P1	; Освобождение участка 1 трассы.	
	ENTER	ROAD2	; Выход машины на второй участок трассы	
	TRANSFER	ALL,ROAD2_1,ROAD2_2,3	; Переход машин к свободному каналу.	
ROAD2_1	SEIZE	WAY2_1	; Определение занятости полосы 1 участка дороги 1 WAY2_1.	
	ASSIGN	1,WAY2_1	; Занять первую полосу движения	
	TRANSFER	,COME3	; Переход машины к оператору с меткой COME3.	
ROAD2_2	SEIZE	WAY2_2	; Определение занятости полосы 1 участка дороги 2 WAY2_2.	
	ASSIGN	1,WAY2_2	; Занять вторую полосу движения COME3	
ROAD2	LEAVE		; Покинуть начало участка трассы	
	ADVANCE	(Exponential(1,1,5))	; Время в пути по участку трассы.	
	RELEASE	P1	; Освобождение участка 2 трассы	
	ENTER	ROAD3	; Выход машины на третий участок трассы	
	TRANSFER	ALL,ROAD3_1,ROAD3_2,3	; Переход машин к свободному каналу.	
ROAD3_1	SEIZE	WAY3_1	; Определение занятости полосы 1 участка дороги 3 WAY3_1.	
	ASSIGN	1,WAY3_1	; Занять первую полосу движения	
	TRANSFER	,COME4	; Переход машины к оператору с меткой COME4.	
ROAD3_2	SEIZE	WAY3_2	; Определение занятости полосы 2 участка дороги 3 WAY3_1.	
	ASSIGN	1,WAY3_2	; Занять вторую полосу движения CAN3.	
COME4	LEAVE	ROAD3	; Покинуть начало участка трассы	
	ADVANCE	(Exponential(1,1,5))	; Время в пути по участку трассы.	
	RELEASE	P1	; Освобождение участка 3 трассы	
	TERMINATE		; Удаление текущей итерации из активного контекста модели	
	GENERATE	480	; Время смены 480 минут	
	TERMINATE	1	; Один цикл – одна минута времени.	
	START	1	; Начало с первой минуты	

Основные результаты моделирования сведены в таблице 1.

Как видно из показателя коэффициента использования (UTIL), оборудование в системе загружено менее чем на 100 %. Ввиду практически 100 % загрузки экскаваторов в системе, оснащение автоматической системой освещения предусматривается только для участков дороги. Для каждого участка дороги коэффициент простоя примем, как среднеарифметическое от суммы коэффициентов для каждой полосы дорожного полотна соответ-

ствующего участка. Коэффициент простоя имеет следующие значения:

- Начальный участок трассы (участок 1) — 0.278
- Средний участок трассы (участок 2) — 0.374
- Конечный участок трассы (участок 3) — 0.414

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, что технологическое оборудование простаивает и будет целесообразно принять решение об отключении основных источников освещения во время простоя технологического оборудования.



Таблица 1

Результаты процесса моделирования

FACILITY	ENTRIES	UTIL	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	INTER	RETRY	DELAY
EKS1	56	0.954	8.175	1	97	0	2	0
EKS2	40	0.942	11.306	1	96	0	2	0
WAY1_1	34	0.738	10.414	1	94	0	0	0
WAY1_2	33	0.766	11.142	1	0	0	0	0
WAY1_3	49	0.661	6.476	1	95	0	0	0
WAY2_1	51	0.607	5.711	1	0	0	0	0
WAY2_2	43	0.645	7.202	1	92	0	0	0
WAY3_1	27	0.722	12.844	1	93	0	0	0
WAY3_2	39	0.450	5.533	1	0	0	0	0
STORAGE	CAP.	REM	MIN	MAX	ENTRIES	AVL.	AVE.C	DELAY
POGR_1	2	0	0	2	98	1.560	0.780	17
ROAD1	3	3	0	3	94	0.906	0.302	0
ROAD2	2	2	0	2	92	0.525	0.262	0
ROAD3	2	2	0	2	90	0.135	0.067	0

Таблица 2

Количество светильников на участке

№ участка	1	2	3
Обычный режим			
Количество светильников (шт.)	600	150	150
Общее потребление (Вт)	240000	60000	60000
Расход электроэнергии (кВт*час)	1920	480	480
Стоимость электроэнергии (руб.)	3705,6	926,4	926,4
Энергоэффективный режим			
Расход электроэнергии (кВт*час)	1386,2	300,5	281,3
Стоимость электроэнергии (руб.)	2675,4	579,7	542,9

Таблица 3

Сводные показатели затрат

№ п.п.	Наименование параметра	Обычный режим ра- боты	Энергоэффективный режим работы
1	Расход электроэнергии (кВт)	2880	1968
2	Стоимость потребляемой электроэнергии (кВт)	5558,4	3218,3
Итоговая экономия электроэнергии в кВт (в %)			912 (31,67 %)
Итоговая экономия денежных средств в руб (в %)			2340,1 (42,10 %)

Рассчитаем экономическую выгоду в случае отключения освещения на время простоя оборудования. Расчет проведем согласно формуле 4.

$$Q_{we} = Q_w - (N_{wi} * t * K_p) \quad (4)$$

Где:  $Q_{we}$  — энергоэффективный расход электроэнергии, кВт\*час;  $K_p$  — коэффициент простоя оборудования.

Просуммируем затраты ресурсов за одну смену на каждом участке для модели в обоих режимах потребления.

Для удобства анализа сведем показатели таблицы 3.

По результатам проведенных исследований, итоговая экономия денежных средств при применении энергоэффективного режима управления светодиодным освещением составила более 40 %. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, об обоснованности применения систем автоматического регулирования освещения при производстве землеройно-транспортных работ.

*Литература:*

1. СП 52.13330.2011 «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*» (утв. Приказом Минрегион РФ от 27.12.201 № 783);
2. Московская объединенная сетевая компания: Тарифы на электроэнергию в Московской области 2012 г. [http://old.moesk.ru/Kliyentam/Peredacha %20elektroenergii/ Tarify/01\\_2012\\_obl/](http://old.moesk.ru/Kliyentam/Peredacha_%20elektroenergii/Tarify/01_2012_obl/) (дата обращения: 26.08.2013).
3. Кудрявцев Е. М., Комплексная механизация строительства: Учебник (издание третье, переработанное и дополненное) — АСВ 2010 г. — 464 с.

## Управление ресурсами для обеспечения экологической безопасности капитального ремонта трубопроводов

Улько Николай Иванович, генеральный директор  
ОАО «Кировоблгаз» (г. Киров)

Арбузов Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, главный инженер  
ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»

Воеводин Илья Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент  
Астраханский государственный университет

*Рассмотрены экономические и социальные аспекты эффективности природоохранных мероприятий для обеспечения экологической безопасности капитального ремонта трубопроводов. Описаны альтернативные варианты решений, что позволяет анализировать финансовую составляющую капитальных вложений инвестиционно-строительных проектов. Существует четыре типа ситуаций, в которых необходимо проводить анализ и принимать управленческие решения на уровне коммерческой организации: в условиях определенности, риска, неопределенности и конфликта.*

**Ключевые слова:** трубопровод; мониторинг; природоохранные мероприятия; экологическая безопасность; материально-технические ресурсы; биологически активные вещества.

## Managing resources to ensure environmental safety overhaul pipelines

*Examined the economic and social aspects of the effectiveness of conservation measures to ensure environmental safety overhaul pipelines. We describe alternative solutions that allows you to analyze the financial component of capital expenditure investment and construction projects. There are four types of situations in which it is necessary to analyze and make management decisions at the level of the commercial organization: in conditions of certainty, risk, uncertainty and conflict.*

**Keywords:** pipeline, monitoring, environmental protection measures, environmental safety, material and technical resources of biologically active substances.

Укрепление экологической безопасности страны требует значительных затрат на проведение мероприятий по охране природы [1–6]. Проблемы оценки экономической и социальной эффективности инвестиций в природоохранную сферу еще недостаточно разработаны. Поэтому приходится пользоваться временной типовой методикой определения эффективности затрат на мероприятия по охране окружающей среды, разработанной на основе типовой методики определения экономической эффективности капитальных вложений, с учетом особенностей методов измерения эффективности инвестиций природоохранных мероприятий. В самом общем виде эти особенности могут быть сформулированы следующим образом:

эффективность затрат на охрану окружающей среды выражается в виде предотвращенных потерь и затрат, возникающих в результате загрязнения окружающей среды; эффект от природоохранных мероприятий имеет четко выраженный региональный характер; социальный эффект не всегда поддается стоимостной оценке, то есть не может быть измерен.

Все это во многом предопределяется эффективностью работы системы мониторинга, которая должна определять возможные отказы техногенных объектов для их предотвращения, предупреждения и ликвидации аварийно-строительными работами. Поэтому систему строительного мониторинга необходимо проектировать заранее

и совершенствовать по мере практического использования [7–8].

Социальная эффективность мероприятий по охране окружающей среды измеряется отношением натуральных показателей, отражающих социальный результат, к затратам, требующимся для его достижения. Сам социальный эффект определяется разностью показателей, характеризующих изменение в социальной сфере в результате осуществления мероприятий по охране природы.

Экономическая эффективность затрат на охрану природы определяется путем отнесения величины первичных эффектов к вызвавшим их затратам. В свою очередь первичные эффекты рассчитываются по разности показателей отрицательного воздействия на окружающую среду и по разности показателей состояния окружающей среды до и после проведения мероприятий.

Проблема обеспечения экологической безопасности топливно-энергетических комплексов (например, трубопроводных систем — как наиболее ярких представителей техногенных объектов) связана со значительным ростом затрат на восстановление природной среды после аварийных выбросов. Поэтому транспортные предприятия начали проводить исследования в области обеспечения экологической безопасности путем создания запасов материально-технических ресурсов, необходимых для ликвидации последствий аварий, что связано с определенными затратами.

Запасы материально-технических ресурсов в системе экологической безопасности транспортных предприятий следует рассматривать в двух аспектах: управленческом и технологическом. Оба аспекта должны быть информационно обеспечены и компьютеризированы. Контроль и отслеживание этих аспектов должен обеспечить мониторинг, который надо запроектировать. Эффективность строительного мониторинга и принимаемых с его помощью природоохранных мероприятий оценивается с помощью технико-экономических показателей (количество материально-технических ресурсов, их тип, сроки проведения аварийно-восстановительных работ и т. д.), что в свою очередь позволяет существенно сократить продолжительность и объем восстановительных работ. Организация управления запасами материально-технических ресурсов в количественном выражении относится к организационному управлению; совершенствование технологий информационного обеспечения и планирования эффективного использования имеющихся ресурсов — к технологическому управлению.

Транспортное предприятие, эксплуатирующее данный трубопровод, представляет собой целостную единицу процесса планирования и контроля. Во многих исследованиях основное внимание уделяется операциям, связанным с входом и выходом материалопотока; в других интерес сконцентрирован на деталях прохождения продукта внутри предприятия или склада. В рассматриваемом случае ведущими факторами управления будут являться: количество материально-технических ресурсов и время

их доставки к месту ликвидации последствий аварийных выбросов продуктов из трубопровода. При этом экономические показатели выступают в роли критериев по отношению к строительно-техническим решениям в области природоохранной деятельности.

Процесс материально-технического снабжения в условиях реализации рыночных отношений требует соблюдения максимальной экономии финансовых и материальных затрат. Эта проблема связана со значительным ростом затрат на содержание запасов. На современном этапе формирования рыночных отношений необходимо использовать научный подход к планированию, контролю и управлению запасами материально-технических ресурсов с целью обеспечения экологической безопасности эксплуатации систем трубопроводов. К основным проблемам в рассматриваемой области знаний следует отнести возможность определения необходимого количества запасов материально-технических ресурсов, обладающих определенными технологическими свойствами.

В частности, проблема управления системой обеспечения запасами биологически активных веществ для ликвидации последствий аварийных выбросов имеет дело не столько с управлением материальным потоком, сколько с обеспечением механизма разработки задач и стратегий, в рамках которых может осуществляться повседневная деятельность по управлению распределением, что следует отнести к автоматизированным системам проектирования строительного мониторинга техногенных объектов. Это не только способствует интеграции видов деятельности, которые традиционно относились к различным функциям материального снабжения, но и объединяет их. Например, ответственность за запасы и их транспортировку. Это может входить в функции производства и распределения. Но, если эти функции разделены, то принятие решений в области запасов без учета возможностей транспорта может привести к увеличению общих затрат.

Решение этих задач применительно к разным видам ресурсов имеет свою специфику, а сами системы различаются по своей структуре, размерам, функциям, и т. д., а также и стратегии их функционирования. При этом на систему будут оказывать влияние изменчивые физические, управленческие, стоимостные и другие факторы, реализуемые в процессе организации запасов.

Комплексный анализ определенного типа запасов материально-технических ресурсов позволяет определить пропорции системы обеспечения экологической безопасности и эффективность стоимостных характеристик этих пропорций. Результатом такого анализа является повышение эффективности деятельности предприятия топливно-энергетического комплекса, поскольку использование ресурсов осуществляется в нужное время, в определенном месте и в необходимых количествах. А поскольку производственная деятельность, связанная с транспортировкой нефти и газа, обуславливает неизбежное изменение показателей качества окружающей

среды, так как невозможно исключить возможность отката и выхода конкретного фактора за пределы зоны оптимума, наилучшая организация запасов материально-технических ресурсов позволит предотвратить значительный экологический ущерб, сведя его к минимальному. Проблема надежности трубопроводных систем в России по функциям экологической безопасности становится весьма актуальной, поскольку продолжительность эксплуатации некоторых трубопроводных систем весьма значительна (30–40 лет).

Для оценки влияния промышленного антропогенеза на экологическое равновесие в природе, определяющего экологическую безопасность реальной геотехнической системы, необходимо использовать как минимум четыре группы количественных критериев: абсолютные потери окружающей среды, выражаемые в конкретных единицах измерения; компенсационные возможности экосистемы, характеризующие ее восстанавливаемость в естественном и искусственном режимах; опасность нарушения

природного баланса, определяющую вероятность возникновения необратимых потерь и локальных экологических смещений; уровень концентрации экологических потерь, характеризующийся масштабом воздействия промышленного техногенеза на окружающую среду.

Экономический риск, характеризуемый совокупным ущербом и потерями, вызванными различными техногенными причинами, рассматривается в следующих основных вариантах: оперативная оценка ущерба в случае произошедшего отказа или аварии; определение ожидаемого ущерба, т. е. прогнозируемого с учетом вероятности возникновения аварийных ситуаций и их последствий.

Рассмотрев экономические и социальные аспекты эффективности природоохранных мероприятий, необходимо определить цели, проанализировать стратегии, задачи и практику, исследовать данные воздействия на окружающую среду, при этом должны быть использованы определенные технико-экономические, экономико-математические и вероятностно-статистические методы.

#### *Литература:*

1. Большеротов А. Л. Система оценки экологической безопасности строительства. — М.: Изд-во «Ассоциации строительных вузов», 2010. — 216 с.
2. Козин В. В., Петровский В. А. Геоэкология и природопользование. Понятийно-терминологический словарь. — Смоленск: Изд-во «Ойкумена», 2005. — 576 с.
3. Коробкин В. И., Передельский Л. В. Экология. — Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2003. — 576 с.
4. Румянцева Е. Е., Губернский Ю. Д., Кулакова Т. Ю. Экологическая безопасность строительных материалов, конструкций и изделий. — М.: Изд-во «Логос», 2011. — 200 с.
5. Хоружая Т. А. Оценка экологической опасности. — М.: Изд-во «Книга сервис», 2002. — 208 с.
6. Арбузов В. В., Грузин Д. П., Симакин В. И. Экономика природопользования и природоохраны. — Пенза: Издание Пензенского государственного университета (ПГУ), 2004. — 251 с.
7. Ширшиков Б. Ф. Организация, планирование и управление строительством. — М.: Изд-во «Ассоциации строительных вузов», 2012. — 528 с.
8. Олейник П. П. Организация строительного производства. — М.: Изд-во «Ассоциации строительных вузов», 2010. — 576 с.

## 9. ТРАНСПОРТ

### Строительство хаб-портов как вариант решения проблемы оптимизации транспортной сети России

Ахмедов Руслан Равшанович, аспирант  
Петербургский государственный университет путей сообщения

В Транспортной стратегии России на период до 2030 года обозначена в качестве одной из главных задач развития транспортной сети и обеспечения такого уровня ее инфраструктуры, чтобы добиться ускорения товарообмена, вызывающего развитие экономики и сохраняющего равную доступность транспортной сети для всех жителей России [1]. Трудность реализации данной задачи объясняется значительной дифференциацией в социально-экономическом развитии регионов, несогласованностью работы железнодорожного, автомобильного и морского транспорта, а также портов.

Казалось бы, обширность российской территории позволяет активно развивать транзитную доставку грузов, однако, для обеспечения сервиса международного уровня современная транспортная сеть не имеет инфраструктуры, соответствующей мировым стандартам. К числу ключевых проблем, препятствующих эффективному развитию транспортной инфраструктуры, следует отнести отсутствие организационной структуры, обеспечивающей синхронное взаимодействие всех участников транспортировки и переработки грузов.

Препятствуют развитию логистического потенциала России, как административные барьеры, так и существующая тарифная политика, формирующая стоимость перевозки, погрузки, фрахта, работы экспедиторов и так далее. Поиск вариантов создания современного логистического центра вылился в проблему строительства и реконструкции портов. Правительство презентовало это как «самый масштабный транспортный проект России». Усиление данного акцента объясняется многими упущенными возможностями экономического развития России. По результатам проведенного в 2011 году Всемирным банком исследования логистического развития 150 стран Россия занимает 92 место по уровню логистической компетенции специалистов, 94 — по срокам доставки, 97 — по состоянию инфраструктуры, 106 — по международным перевозкам, 131 — по стоимости внутренней доставки, 138 — по работе таможни [2]. Так, в частности, множество машин, доставляемых морем из Японии и Южной Кореи в финские и эстонские порты, предназначены для российских автомобилистов. Однако снизить сроки доставки данных товаров при суще-

ствующих логистических схемах не представляется возможным.

Строительство хаб-портов российской экономике крайне необходимо, так как комплексность их логистической инфраструктуры позволит согласовать между собой развитие как отдельных частей транспортной отрасли (железнодорожный транспорт, складские терминалы, морские порты и аэропорты и др.), так и необходимого транспортного функционала, начиная от таможенных служб и заканчивая службой безопасности. Современный хаб-порт — концентратор портов (в переводе с испанского «Пуэртос pivotes») для отправки отечественных и иностранных грузов с пунктов отправления и/или назначения для их последующего перераспределения. Такой порт работает эффективно, если в стране отлажены контейнерные перевозки, которые в настоящее время пользуются большой популярностью на рынке транспортных услуг.

Сегодня на российском рынке транспортно-логистических услуг работают 4000 компаний. Анализ рынка транспортных услуг России показывает, что отраслевыми видами транспорта в настоящее время перевозятся не более 70 % от общего объема грузового потока: почти треть всех грузов переваливается собственным транспортом предприятий — производителей [3]. Мировая практика показывает, что максимально эффективно работают те терминалы, которые привязаны к грузообразующим объектам, расположенным в специальных индустриально-логистических зонах.

Если рассматривать проблему в исторической ретроспективе, то после распада СССР у России осталась, лишь одна треть морских портов. Актуальность строительства современных логистических портов осознавалась правительством еще в начале 90-х годов, но страна нуждалась в укреплении политических институтов. Лишь в 1998-м всерьез взялись за возведение первого угольного терминала — порта Усть-Луга. В результате строительство хаб-порта позволило самый «грязный» угольный терминал превратить в экологически чистый объект транспортной отрасли. Новейшие технологии и мощная вытяжная система с фильтрами позволяют в настоящее время находиться непосредственно рядом с местом выгрузки без за-



щитной маски и обходиться без угольной пыли даже при разгрузке вагонов. Технологию работы хаб-порта можно описать следующим образом. Весь кузбасский уголь отсортирован в пирамиды-бурты на определенное место. Люди задействованы в минимальном количестве, так как в основном осуществляют контрольные функции. Главная работа ведется с диспетчерского пункта, где весь терминал просматривается на видеомониторах. Диспетчер работает по плану закрытой системы транспортеров и осуществляет отгрузку покупателям угля по их заявкам. В ходе погрузки из нескольких сортов угля легким набором определенных комбинаций на клавиатуре компьютера создается одна из 18 марок угля. В распоряжении диспетчера собранные в пирамиды-бурты сорта угля и 42 маршрута перевалки. Ничего подобного на постсоветском пространстве не строилось. Чтобы осознать масштабы сооружения хаб-портов, можно для примера назвать всего лишь одну цифру — 10. Это суммарная длина причалов морского порта в Усть-Луге в километрах. Вся портовая территория разграничена по специализации. У каждого терминала имеются службы безопасности, повсюду размещены системы сигнализации и видеоконтроля, радиационные датчики на переходах в таможенную зону.

Современное развитие транспортной отрасли в России обозначает новую стратегическую задачу морских ворот России — в минимальные сроки переориентировать гру-

зопотоки в интересах отечественной экономики, снизить транспортные издержки российских компаний и зависимость от тарифной политики сопредельных государств. Реализуемый в настоящее время, с нашей точки зрения, приоритет развития перерабатывающих мощностей российских морских портов лишь частично решит стратегическую задачу. Не секрет, что развитие сети железных и автомобильных дорог для обеспечения транзитных перевозок связано со значительными инвестициями, которых у государства в достаточном количестве пока нет. Привлечение частных инвесторов проблематично из-за отсутствия признаков коммерческой эффективности таких проектов. Однако, к примеру, нефтяной терминал, конечный пункт второй очереди Балтийской трубопроводной системы (БТС-2), перерешит зависимость транзита нефти на Запад от Белоруссии и Украины и не будет больше нуждаться в нефтепроводах «Одесса—Броды» и «Дружба». Несмотря на существенные затраты, мы считаем, что за хаб-портами будущее российской транспортной отрасли, ведь морем можно будет отправлять грузовые фуры, а инфраструктура готова и к приему пассажиров. Факты говорят сами за себя: один паром способен уместить до 140 железнодорожных вагонов. Таким образом, хаб-порт решает инновационные, инвестиционные и инфраструктурные задачи транспортной отрасли и российской экономики.

#### Литература:

1. [http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13009](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13009)
2. <http://www.dniimf.ru/ru/singapore-2>
3. <http://2020strategy.ru/>

## Разработка методов и средств повышения эффективности элементов газовоздушного тракта тепловозных дизелей

Носырев Дмитрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор;  
Свечников Александр Александрович, преподаватель;  
Самарский государственный университет путей сообщения

*Статья посвящена разработке мероприятий по повышению эффективности элементов газовоздушного тракта тепловозных дизелей. Основное внимание уделяется разработке электродинамического метода очистки воздушных и газовых сред от твердых загрязнителей. Разработана принципиальная схема устройства очистки отработавших газов тепловоза ТЭМ2.*

**Ключевые слова:** газовоздушный тракт, электродинамический метод очистки, ионизация, дизель, циклон-электрофильтр.

Состояние локомотивного парка железнодорожного транспорта характеризуется удельным количеством отказов оборудования различных систем и узлов тепловозов, которое варьируется в широких пределах как по тепловозу в целом, так и по видам оборудования систем

и узлов. Наибольшее количество отказов приходится на дизель. А ведь от технического состояния различных его узлов в значительной степени зависит расход топлива тепловозом. Например, некачественная очистка атмосферного воздуха на входе в турбокомпрессор приводит



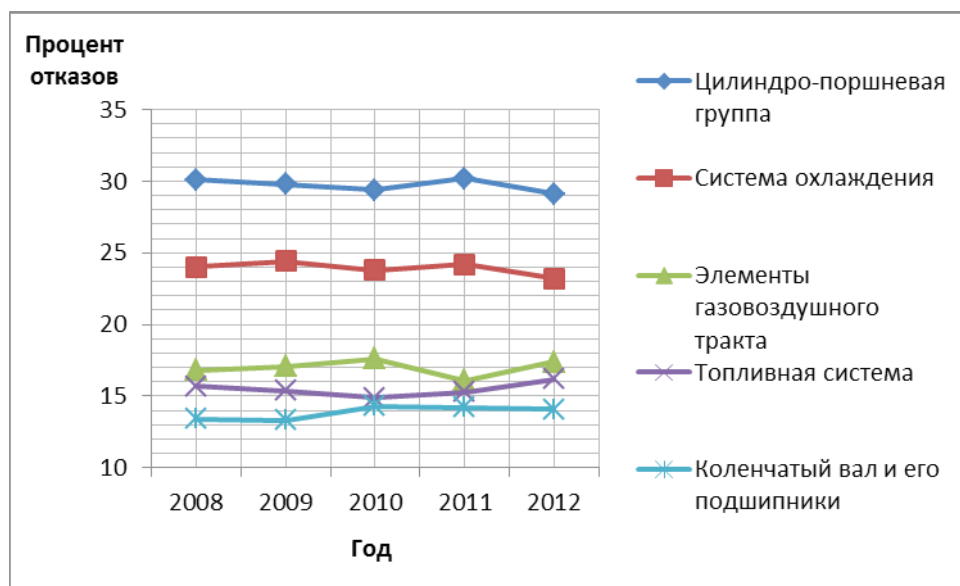


Рис. 1. Динамика изменения неисправностей основных узлов и систем тепловозных дизелей за период 2008–2012 гг.

к снижению производительности турбокомпрессора и закоксовыванию лопаток турбины, что в следствии вызывает неустойчивую работу дизеля. На железных дорогах Российской Федерации тепловозы работают в различных климатических условиях, подвергаются действию солнечной радиации, изменению температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков, пылевых загрязнений. В процессе эксплуатации на элементы газозвдушного тракта дизеля тепловоза работает в условиях интенсивных вибраций, ударных воздействий и в широком диапазоне нагрузок. Таким образом, газозвдушная система должна обеспечить сохранение всех параметров в течение предусмотренных сроков службы при воздействии этих факторов.

На рис. 1 приведена динамика изменения неисправностей основных узлов и систем тепловозных дизелей за период 2008–2012 г. г.

Анализ данных приведенных на рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что ситуация с надежностью работы элементов газозвдушного тракта остается без существенных изменений.

Состояние дизеля оказывает значительное влияние на эксплуатационные расходы топлива. Как показывает практика, повышение эффективности работы элементов газозвдушношного тракта позволяет снизить удельный расход топлива на 1–2 %. К числу основных причин, ухудшающих надежность и экономичность работы дизеля в эксплуатации, относится некачественная очистка атмосферного воздуха на входе в турбокомпрессор. Таким образом, с целью предотвращения порч и заходов тепловозов на неплановые ремонты необходимо разработать комплекс мероприятий по повышению эффективности работы элементов газозвдушного тракта дизеля.

Предлагается реализовать следующие мероприятия:

1. Очистка воздушного потока на входе в турбокомпрессор от твердых загрязнителей (приводит к уменьшению потерь на фильтре, к понижению давления на входе в турбокомпрессор, к уменьшению износа деталей элементов газозвдушного тракта дизеля, к стабилизации режимов работы системы воздухоснабжения, к повышению производительности турбокомпрессора, что позволит содержать тепловоз в лучшем теплотехническом состоянии и способствует экономии топлива);

2. Ионизация воздуха на входе в турбокомпрессор (приводит к озонированию воздуха, что способствует более полному сгоранию топлива в цилиндре дизеля и как следствие уменьшению удельного расхода топлива);

3. Очистка отработавших газов от твердых загрязнителей на выходе из выхлопной трубы (приводит к улучшению экологических показателей тепловозов, позволяет обеспечить требуемый уровень предельно-допустимых концентраций сажи на всех режимах работы тепловоза).

Реализацию мероприятий по повышению эффективности работы элементов газозвдушного тракта тепловозных дизелей можно осуществить с помощью электродинамического метода очистки воздушных и газовых сред. В научно-исследовательской лаборатории «Теплофизические методы контроля и диагностирования локомотивов» кафедры «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения было разработано устройство электродинамической очистки. [1, 2].

Устройство представляет собой циклон-электрофильтр. Очистка воздуха (газа) от твердых загрязнителей внутри устройства происходит за счет действия центробежных сил и сил электрического взаимодействия. Внутри

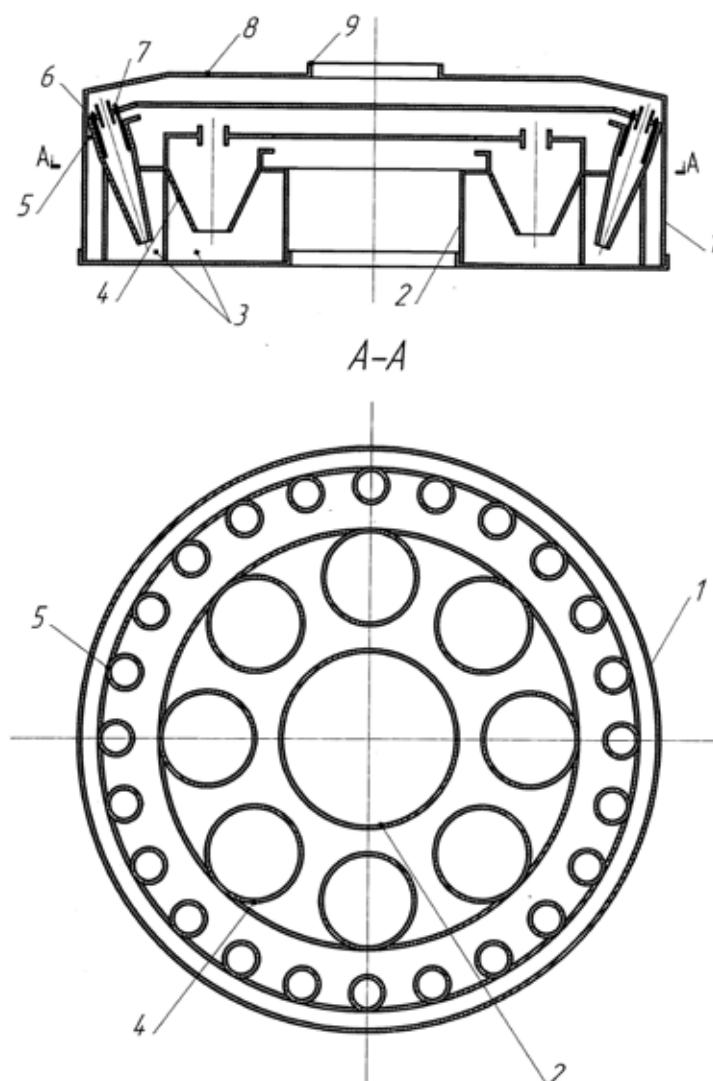


Рис. 2. Принципиальная схема устройства очистки отработавших газов тепловоза ТЭМ2

устройства реализуется биполярный коронный разряд, под действием которого частицы коагулируют и более эффективно улавливаются.

В лаборатории «Локомотивные энергетические установки» СамГУПС были проведены экспериментальные исследования опытного образца циклона-электрофильтра [3]. Циклон-электрофильтр работал в качестве устройства очистки отработавших газов экспериментального дизеля Д242. В целом эксперименты показали:

- Применение циклона-электрофильтра, работающего на биполярном коронном разряде, в качестве устройства очистки отработавших газов дизеля позволяет уменьшить объемную концентрацию сажи в 10,7 раз;

- При напряжении на коронирующих электродах  $U = 9$  кВ коэффициент коагуляции достигает своего пика:  $K_k = 1,9$ .

- Работа циклона-электрофильтра на напряжении  $U = 9$  кВ с запасом обеспечивает предельно-допустимые концентрации сажи на всех эксплуатационных режимах работы дизеля. Степень очистки циклона-электро-

фильтра работающего на напряжении  $U = 9$  кВ держится постоянной не зависимо от режимов работы дизеля;

- Установка циклона-электрофильтра в выхлопную систему дизеля не влияет на мощность и экономичность работы дизеля.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что использование электродинамического метода очистки воздушных и газовых сред эффективно для реализации мероприятий по повышению эффективности работы элементов газозоудного тракта тепловозных дизелей.

Применение электродинамического метода очистки воздуха на входе в турбокомпрессор приводит к уменьшению концентрации твердых частиц в потоке, а также к ионизации воздуха. Таким образом, разработанной конструкцией циклона-электрофильтра реализуется два обозначенных мероприятия повышения эффективности элементов газозоудного тракта тепловозных дизелей: очистка воздуха на входе в турбокомпрессор и ионизация воздуха.

Для реализации мероприятия по очистке отработавших газов на выходе из выхлопной трубы тепловоза разработана конструкция двухступенчатого циклона-электрофилтра, адаптированного к выхлопной системе тепловоза ТЭМ2 (рис. 2).

Разработанное устройство состоит из главного корпуса 1, с осевым входным патрубком 2, кольцевой камеры сбора шлама 3, первого модуля циклонного разделения 4, второго модуля циклонного разделения 5, изоляторов 6, разнополярных коронирующих электродов 7, крышки корпуса 8 с выходным патрубком 9.

Таким образом, крупные частицы улавливаются в первом модуле циклонного разделения 4, который содержит не менее двух одинаковых циклонов цилиндрической формы с тангенсальным подводом газа. Далее поток газа идет вверх по ступеням очистки и попадает в циклоны второго модуля разделения 5, который содержит не менее четырех циклонов-электрофилтров с тангенсальным подводом газа. Во втором модуле разделения реализован электродинамический метод очистки. Дополнительно к крышке каждого циклона второго модуля разделения через изоляторы 6 прикреплены не менее четырех разнополярных коронирующих электродов

7. Разнополярные электроды размещены по concentрическим окружностям и их полярность чередуется по ходу движения газа. При подаче высокого постоянного напряжения на электроды 7, между ними создается биполярный коронный разряд. При прохождении газа область биполярного коронного разряда, твердые загрязняющие частицы приобретают положительный и отрицательный заряд вблизи соответствующего электрода. В дальнейшем отрицательно и положительно заряженные частицы двигаются навстречу друг к другу, слипаются и укрупняются. Более крупные частицы легче подвергаются воздействию центробежных сил. Пойманные частицы попадают в кольцевую камеру сбора шлама 3. Степень очистки циклонов второго модуля разделения выше, чем у циклонов первого модуля разделения. Циклоны каждого последующего модуля разделения имеют меньшие размеры и меньший угол развертки чем циклоны предыдущего модуля разделения. Ось циклонов всех модулей разделения может быть как параллельно оси всего устройства, так и находиться под некоторым углом к ней (для компактности конструкции). После прохождения всех модулей циклонного разделения очищенный газ выходит в атмосферу через патрубок 9, размещенный в центре крышки 8 всего устройства.

#### *Литература:*

1. Носырев Д. Я., Свечников А. А. Циклон-электрофилтр // Патент на полезную модель № 117321 по кл. В03С3/15 от 24.11.2011. Опубликовано: 27.06.2012. Бюл. № 18.
2. Носырев Д. Я., Свечников А. А. // Разработка устройства очистки отработавших газов тепловозного дизеля от твердых загрязнителей // Молодой ученый № 10 (45) / 2012 // Ежемесячный научный журнал // Главный редактор Ахметова Г. Д., 2012 г. — ООО «Издательство Молодой ученый», — С. 67–69.
3. Носырев Д. Я., Свечников А. А. // Экспериментальные исследования работы циклона-электрофилтра в качестве устройства очистки отработавших газов тепловозных дизелей // Вестник транспорта Поволжья № 6 (36) // Научный журнал // главный редактор Ковтунов А. В., ноябрь-декабрь 2012 г. — С. 13–20.

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

### Система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в курсе технических дисциплин

Айсарина Альфия Алпыспаевна, ассистент;

Перевозчикова Екатерина Геннадьевна, старший преподаватель

Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского  
(филиал в г. Мелеуз, Республика Башкортостан)

Федеральные образовательные стандарты высшего профессионального образования нового поколения формируют требования к результатам освоения основных образовательных программ в виде компетенций, которыми должен обладать выпускник. Информационная грамотность является ключевым компонентом как некоторых общекультурных, так и профессиональных компетенций специалистов всех технических направлений подготовки.

Изучение современных аппаратных и программных средств создания компьютерной графической информации, должны стать одним из важнейших направлений графического образования. Особое значение это приобретает на уровне высшего профессионального образования, основной целью которого в первую очередь является подготовка квалифицированного специалиста, способного использовать современные технологии для решения профессиональных задач.

Владение чертежно-графическими программами, большинство студентов считают важным условием успешности дальнейшей трудовой деятельности.

APM WinMachine — современная CAD/CAE система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению документации, так и к проектным алгоритмам. APM WinMachine включает в себя 22 модуля, один из которых, APM Trans, позволяет выполнить весь комплекс проек-

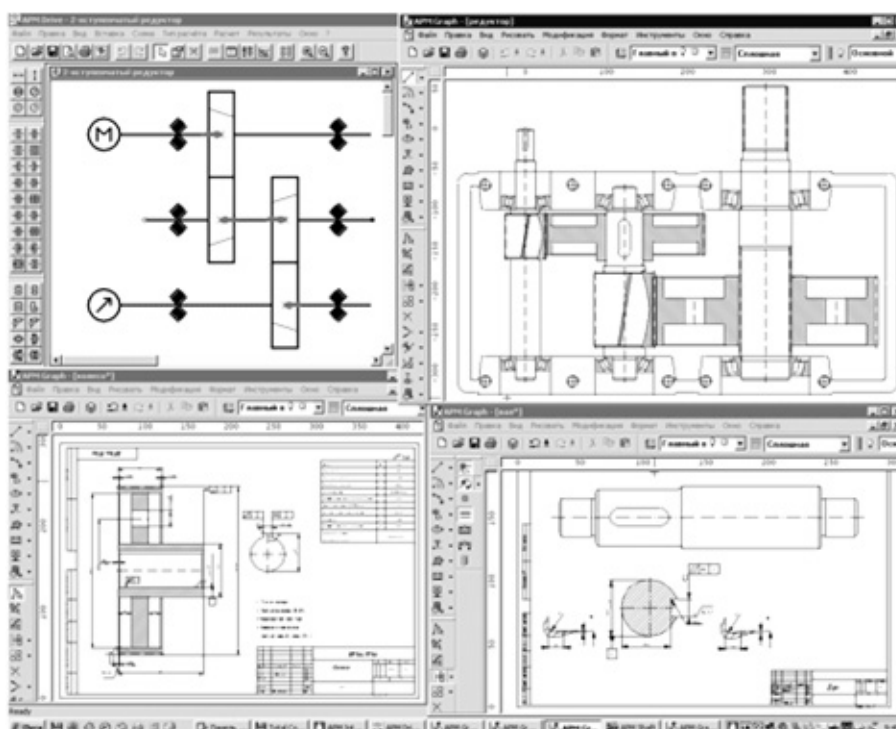


Рис. 1. Чертежи элементов механического привода

тировочных и проверочных расчетов передач, сделать выбор рациональных параметров этих передач, а также получить рабочие чертежи ведущего и ведомого колеса, шкивов, звездочек и т. д.

АРМ Trans позволяет проводить расчеты следующих типов передач:

1) передачи зацеплением:

- цилиндрические с прямым зубом внешнего и внутреннего зацепления;
- цилиндрические с косым зубом;
- конические ортогональные с прямым зубом;
- пластмассовые цилиндрические с прямым зубом;
- конические с круговыми зубьями для трех известных форм;
- червячные с архимедовым, эвольвентным и конволютным червяком.

2) передачи гибкой связью:

- ременные: с плоским ремнем, с клиновыми и поликлиновыми ремнями, с зубчатым ремнем;
- цепные различных типов и модификаций.

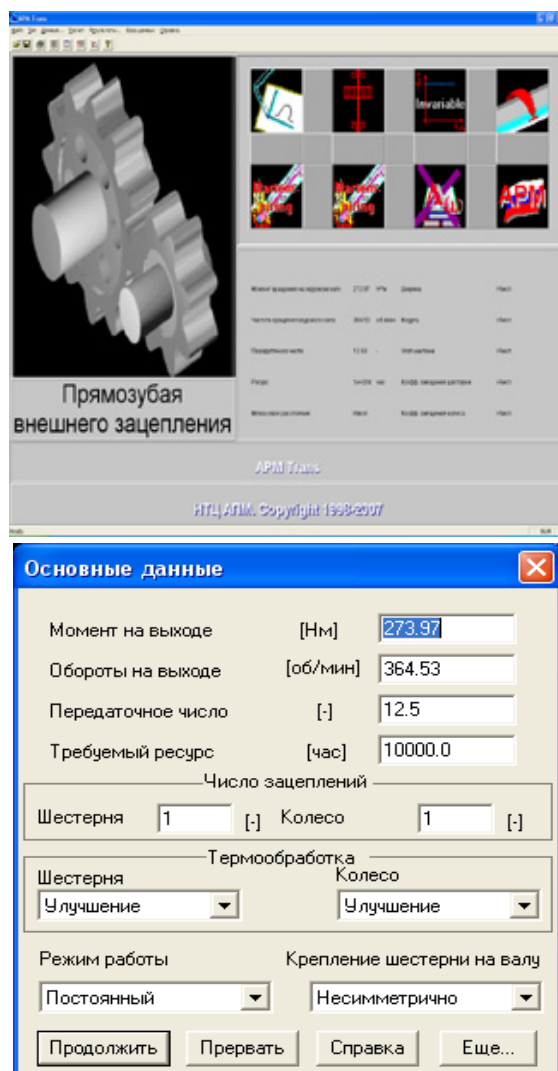
Данный модуль используется в учебном процессе на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» филиала ФГБОУ ВПО Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского г. Мелеузе, Республика Башкортостан при расчете курсового проекта, лабораторных работ, при дипломном проектировании в разделе «Расчет на прочность» узлов модернизируемой машины.

Нами был проведен сравнительный анализ программного и аналитического методов расчета механизмов. Программный метод использован для проектирования механизма до предварительных чертежей. Далее был проведен аналитический расчет механизма по ГОСТ.

Цели работы:

1. Создание и разработка узлов механизмов в программе.
2. Сравнительный анализ методик расчета.

### Программный расчет



**Параметры материалов**

Допускаемые напряжения по контакту 554.545 [МПа]

Допускаемые напряжения изгиба:

Шестерни.....	285.882 [МПа]
Колеса.....	285.882 [МПа]

Твердость поверхности

Шестерни.....	27.0 [HRC]
Колеса.....	27.0 [HRC]

Действующие напряжения

Контактное 543.155 [МПа]

Изгибные

Шестерни.....	201.12 [МПа]
Колеса.....	192.358 [МПа]

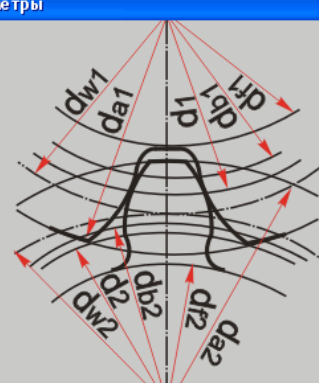
**Основные геометрические параметры**

$a_w$ ..... 232.0 [мм]

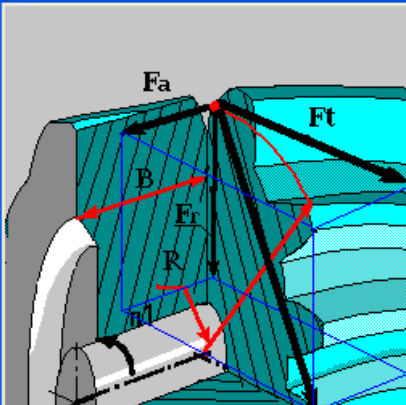
$m$ ..... 1.25 [мм]

$\beta$ ..... 0.0 [град]

Параметр	Шестерня	Колесо
$d$ [мм]	35.0	428.75
$d_b$ [мм]	32.889	402.893
$d_w$ [мм]	35.019	428.981
$d_a$ [мм]	37.625	431.375
$d_f$ [мм]	32.0	425.75
$x$ [-]	0.05	0.05
$h$ [мм]	2.812	2.812
$b_w$ [мм]	66.0	61.0
$z$ [-]	28	343



**Силы в зацеплении**



$F_a$ .....	0.0	[Н]
$F_t$ .....	467.039	[Н]
$F_r$ .....	1277.306	[Н]
$B$ .....	33.0	[мм]
$R$ .....	17.509	[мм]

### Аналитический расчет

Примем для шестерни и колеса одну и ту же марку стали 40X, термическая обработка — улучшение, HB 180. Допускаемые контактные напряжения

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim b} \cdot K_{HL}}{[S_H]} = \frac{560 \cdot 1}{1.12} = 554 \text{ МПа.}$$

Коэффициент  $K_{H\beta}$  при консольном расположении шестерни

$$K_{H\beta} = 1.12.$$

Межосевое расстояние:



$$a_w = K_a \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u \cdot \psi_{ba}}} = 1,1 \sqrt[3]{\frac{273,97 \cdot 1,12}{[554]^2 \cdot 12,5 \cdot 61}} = 230 \text{ мм}$$

Внешний делительный диаметр:

$$d_{e1} = m_{a1} \cdot z_1 = 1,25 \cdot 28 = 35 \text{ мм};$$

$$d_{e2} = m_{a2} \cdot z_2 = 1,25 \cdot 3438 = 428 \text{ мм}.$$

Примем число зубьев шестерни  $z_1 = 28$ ,  $z_1 = 28$ .

Число зубьев колеса

$$z_2 = z_1 \cdot u = 32 \cdot 12,5 = 343.$$

Внешний окружной модуль

$$m_e = \frac{d_{e2}}{z_2} = \frac{428}{343} = 1,248 \text{ мм} \approx 1,25 \text{ мм};$$

принимаем по ГОСТ 9563–60 ближайшее стандартное значение  $m_e = 2,5 \text{ мм}$ .

Силы в зацеплении:

– окружная

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 273,98 \cdot 10^3}{35} = 1277,38 \text{ Н};$$

– радиальная для шестерни, равная осевой для колеса,

$$F_{r1} = F_{a2} = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1277,38 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 467,25 \text{ Н}$$

Допускаемое напряжение при проверке зубьев на выносливость по напряжениям изгиба

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim b}^0}{[S_F]} = \frac{324}{1,75} = 285,14 \text{ МПа}.$$

Дальнейший расчёт ведём для зубьев шестерни

$$\sigma_{F2} = \frac{1277,38 \cdot 1,25 \cdot 3,78}{55 \cdot 2,5} \approx 59,03 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}] = 285,14 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Таблица 1

Сравнительный анализ программного и аналитического методов расчета

	Программный	Аналитический	Погрешность
$a_w, \text{ мм}$	232	230	0,002
$[\sigma_H], \text{ МПа}$	554,54	554	0,006
$[\sigma_F], \text{ МПа}$	285,88	285,14	0,008
$F_r, \text{ Н}$	467,03	467,25	0,003
$\sigma_F, \text{ МПа}$	1277,30	1277,38	0,001

Методы, используемые для вычислений в программе в некоторых случаях не идеально совпали с аналитическими вычислениями в виду того, что численные решения приближены. Данная погрешность допустима для инженерной точности и не отразится на работе машины.

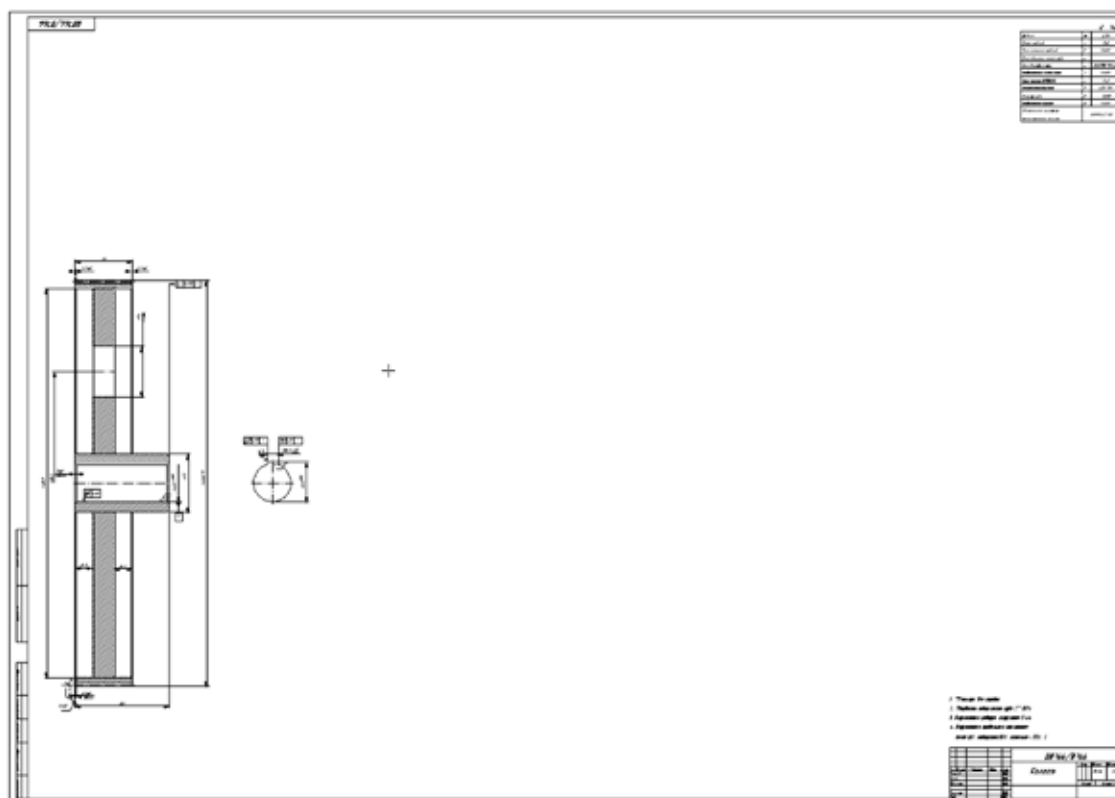


Рис. 2. Чертеж зубчатого колеса, сгенерированный в модуле программы APM Graph

#### Литература:

1. <http://apm.ru/rus> АРМ Научно-технический центр
2. П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов «Конструирование узлов и деталей машин» Высшая школа 2001 г. 447 стр.
3. Детали машин. Учебно-практические материалы. СГПИ 2007 г.

## Бурение боковых стволов на примере Уренгойского газоконденсатного месторождения

Антонова Евгения Николаевна, соискатель

Филиал Тюменского государственного нефтегазового университета (г. Новый Уренгой).

*В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с восстановлением фонда бездействующих скважин, технологией бурения боковых стволов, отводов и применяемое при этом оборудование.*

**Ключевые слова:** бурение, фрезерование, двигатель — отклонитель, телеметрия.

В процессе эксплуатации нефтяного или газового месторождения дебит скважин со временем уменьшается или прекращается вообще из-за обводнений или ухудшений коллекторских свойств пласта. В настоящее время в России по этим причинам простаивает свыше сорока тысяч скважин. Количество бездействующих и малодебитных скважин во всех нефтегазодобывающих регионах страны постоянно увеличивается, поэтому важным

направлением деятельности нефтегазодобывающих предприятий становится ремонт старых скважин.

Эффективным методом восстановления бездействующих и повышения производительности малодебитных скважин, является бурение бокового ствола из вырезанного участка обсадной колонны. Боковые стволы позволяют обойти зоны обводнения и загрязнения в пласте, а так же вскрыть пропущенные пласты. Использование

при этом технологии многоствольного и разветвлено горизонтального бурения улучшит дренажную систему и условия эксплуатации продуктивного пласта.

Технология бурения бокового пласта состоит из следующих этапов:

1. Фрезерование обсадной колонны по всему сечению с помощью вырезающего устройства.
2. Установка зарезного цементного моста в открытом интервале ствола.
3. Ориентирование двигателя отклонителя в обсадной эксплуатационной колонне и забуривание бокового ствола зарезного цементного моста.
4. Направленное бурение бокового ствола.
5. Крепление бокового ствола хвостовиком.

При забуливании бокового ствола с зарезного цементного моста:

- Полностью исключаются проблемы связанные со спуском и закреплением клина.
- Состояние обсадной колонны не оказывает существенного влияния на проведение работ по бурению и креплению бокового ствола.
- Из вырезанного интервала обсадной колонны можно пробурить несколько боковых стволов.
- Имеется возможность многократного использования существующего вырезанного интервала.
- Широкий спектр радиусов искривления в месте забуливания.
- Восстановлению подлежат старые скважины, которые имеют различные дефекты обсадной эксплуатационной колонны.

Основными элементами комплекса технических средств для бурения бокового ствола являются:

**1. Вырезающее устройство.** Предназначено для фрезерования по всему сечению обсадных труб роторным

способом. В процессе фрезерования удаляется старый цемент из обсадной колонны, образующиеся, при этом, мелкая стружка металла легко удаляется из скважины. Вырезающее устройство состоит из трех частей:

- В верхней части корпуса устройства расположены поршень и толкатель.
- В средней части установлены подпружиненные фиксаторы.
- В нижней пять резцов, армированных твердым сплавом.

Под действием давления промывочной жидкости поршень, с толкателем сжимая возвратную пружину, перемещаются вниз. Толкатель раздвигает резцы в радиальном направлении. После завершения фрезерования и прекращения подачи промывочной жидкости, поршень с толкателем под действием возвратной пружины перемещаются вверх, при этом резцы освобождаются и занимают транспортное положение. Вырезающее устройство выпускается для фрезерования обсадных колонн диаметром 139, 146, 168, 178 и 219 мм.

**2. Забойный двигатель отклонитель.** Винтовые забойные двигатели отклонители, являются не только приводом долота, но и устройством для формирования ствола скважины по заданной траектории. Двигатель отклонитель является многозаходным винтовым и роторным механизмом и состоит из двух секций:

- Двигательной секции, содержащей статор и ротор с валом.
- Шпиндельная секция, представляющая собой корпус с расположенными в нем валом, осевыми и радиальными опорами.

Валы шпинделя и ротора связаны шарниром. Между секциями двигателя отклонителя может быть установлен: прямой переводник, искривленный переводник, регули-

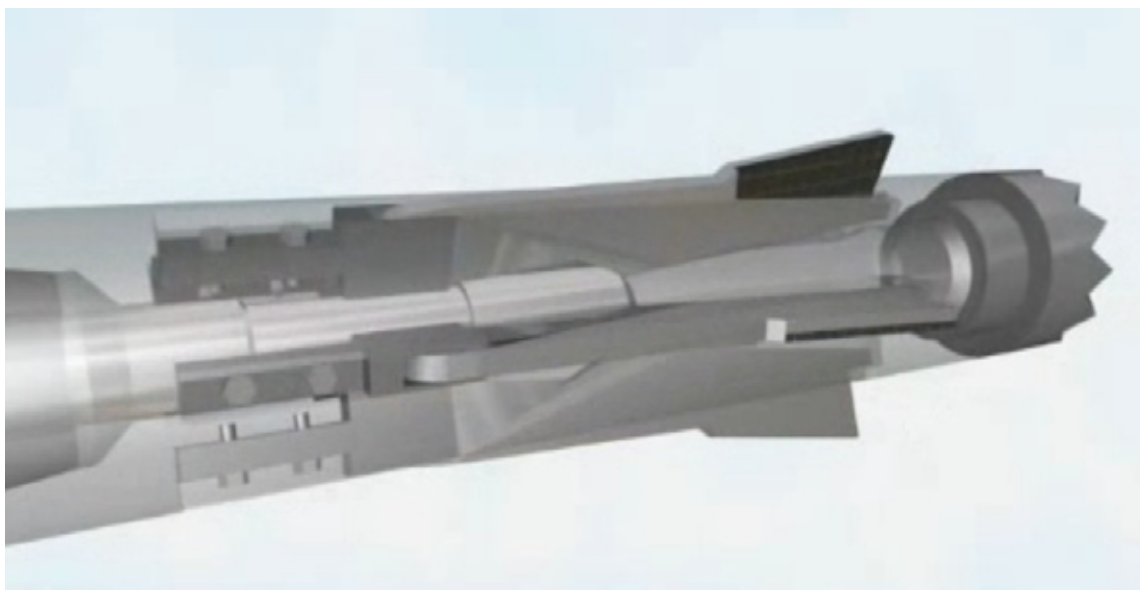


Рис. 1. Вырезающее устройство

емый механизм искривления, шарнир с двумя степенями свободы, центратор или де центратор. Перечисленные элементы и узлы существенно расширяют технологические возможности такого двигателя отклонителя и обеспечивают искривление ствола скважины в широком диапазоне радиусов кривизны. Двигатели отклонителя типа ДГ диаметром 95, 108 и 155 мм. специально разработаны для забуривания и бурения бокового ствола скважины из эксплуатационных колон диаметрами 140, 146, 168, и 219 мм. Для рациональной отработки долот двигатели могут поставляться с рабочими парами с различной частотой вращения (100–120 и 180–200 об./мин.).

### 3. Телеметрическая система ориентирования двигателя отклонителя.

Для решения задач и ориентирования двигателя отклонителя, а так же контроля и управления траектории бокового ствола разработана, малогабаритна телеметрическая система с кабельным каналом связи. Телеметрическая система используется для контроля процесса проводки искривленного и прямолинейного интервалов бокового ствола скважины с помощью забойных двигателей отклонителей типа ДГ и включает:

- Извлекаемый забойный модуль.
- Наземную аппаратуру.
- Технологическую оснастку.

По кабельному каналу связи информация мгновенно поступает к оператору, что позволяет осуществлять управление процессом бурения бокового ствола в реальном масштабе времени. Кроме того, кабельный канал связи позволяет работать с любыми промысловыми агентами, в то числе и с газообразными.

### 4. Устройство для спуска и цементирования хвостовика.

Для крепления бокового ствола используется устройство для спуска и подвески хвостовика, оно закрепляет хвостовик в эксплуатационной колонне. Разработан комплекс технических средств для селективного крепления ствола с элементами управления.

Системное применение технологии бурения боковых стволов в продолжительном по времени разработки в нефтегазодобывающих регионах равноценно открытию нового месторождения. Стоимость и срок окупаемости капитальных затрат на строительство бокового ствола значительно ниже, аналогичных показателей бурения новой скважины, за счет использования большей части ствола старой скважины и существующей инфраструктуры месторождения.

По технологии и с применением комплекса технических средств, Российских заводов производителей оборудования, на ряде нефтяных и газовых месторождениях, в частности Уренгойском и Ямбургском, осуществлено строительство наклонных и горизонтальных боковых стволов. Например, в 2012 году, благодаря такой технологии были запущены скважины, которые с 1986 года были выведены из эксплуатационного фонда по причине полного обводнения. Все боковые стволы пробурены без осложнений и в соответствии с проектом, что явилось результатом надежной работы всего комплекса технических средств и дало дополнительный приток полезных ископаемых, которые считались безвозвратно потерянными.



Рис. 2. Забойный двигатель отклонитель с дополнительными секциями. 1. Двигатель отклонитель; 2. Прямой переводник; 3. Искривленный переводник; 4. Регулируемый механизм искривления; 5. Шарнир с двумя степенями свободы; 6. Центратор; 7. Децентратор.

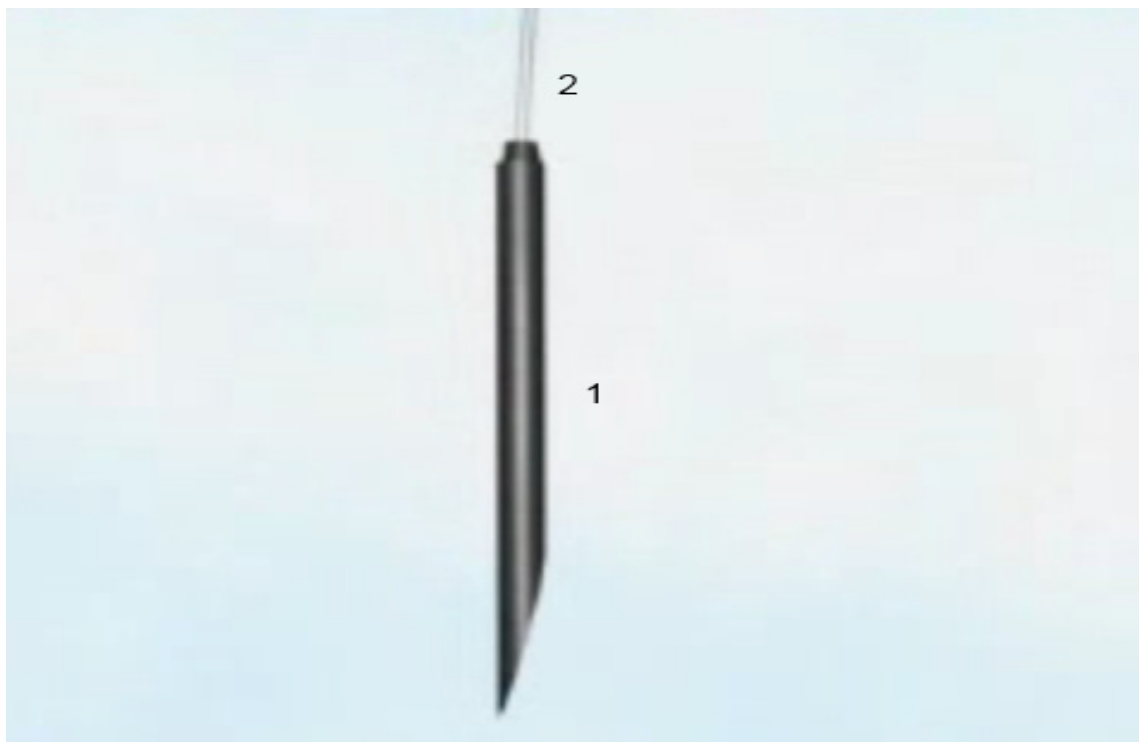


Рис. 3. Телеметрическая система ориентирования двигателя отклонителя. 1. Телеметрия; 2. Кабельный канал связи.

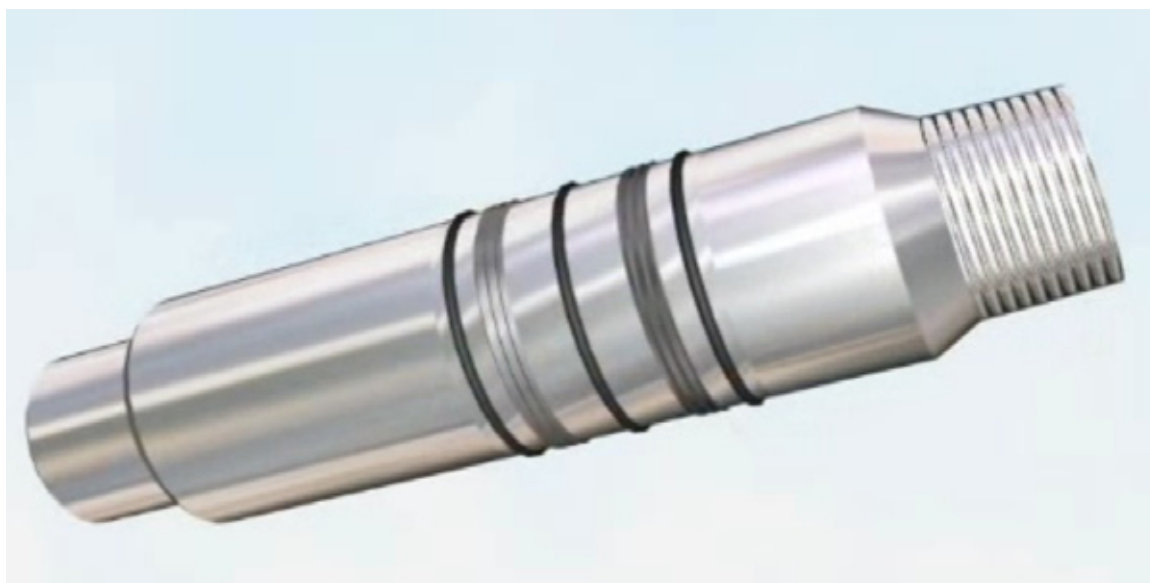


Рис. 4. Устройство для спуска и подвески хвостовика

#### Литература:

1. Зозуля Г. П., Клещенко И. И., Гейхман М. Г., Чабаяев Л. У. Теория и практика выбора технологий и материалов для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах: Учебное пособие. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. — 138 с
2. Зозуля Г. П., Шенбергер В. М., Карнаухов М. Л. и др. Расчеты при капитальном ремонте скважин: Учебное пособие для вузов. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. — 188 с.
3. Булатов А. И., Качмар Ю. Д., Макаренко П. П., Яремийчук Р. С. Освоение скважин: Справочное пособие / Под ред. Р. С. Яремийчука. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 473 с. : ил.

## Направления совершенствования современных насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей

Китаева Светлана Анатольевна, кандидат технических наук,  
заведующий научно-исследовательским экспертным сектором

Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (Украина)

*Рассмотрены направления совершенствования современных высоконапорных насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей. Предложены методы повышения их технического уровня на стадии проектирования*

**Ключевые слова:** Механизированная крепь, система гидропривода, высоконапорные насосные агрегаты, виброакустические характеристики, безопасность, надежность.

В связи с постоянным усложнением горно-геологических условий применения очистных угледобывающих комплексов, резко возросли требования к рабочим параметрам и эксплуатационным характеристикам безопасности и надежности механизированной крепи и ее гидроэнергетической установки (ГЭУ). Энерговооруженность современных ГЭУ возросла до 300 кВт, а рабочие значения давления до 40–50 МПа, подачи рабочей жидкости до 300–400 л/мин и выше.

Особенностью ГЭУ для механизированных крепей является ее готовность в каждый момент времени обеспечивать выполнение любой операции технологического цикла работы комплекса. Режимы работы ГЭУ в лавах с высокой нагрузкой довольно напряженные: в течение суток высоконапорные насосные агрегаты (ВНА) включены 20–22 часа, от 50 % до 70 % этого времени они работают в режиме номинальной нагрузки, то есть обеспечивают номинальные значения давления и расхода рабочей жидкости.

Как показывает опыт эксплуатации ГЭУ с ВНА, их функционирование сопровождается генерированием высоких уровней вибрации и шума, превышающих допустимые значения (80 дБА). При этом значительно снижается безопасность эксплуатации ВНА и его надежность, оказывается отрицательное воздействие на человека-оператора, снижая его функциональные возможности и создавая предпосылки для ошибочных действий, аварийности и травматизма [1, 2].

Поэтому достижение безопасных виброакустических характеристик ВНА является актуальной, сложной и наукоемкой задачей. Ее решение позволит не только повысить безопасность и надежность эксплуатации ВНА, но и всего оборудования очистного механизированного комплекса, а также — обеспечить здоровые условия труда обслуживающего персонала.

Характерными направлениями повышения технического уровня современных ВНА являются совершенствования их конструкций на основе высокотехнологичных инженерных решений путем внесения новых подходов:

— изменена структура ВНА: от одного двигателя приводятся три насоса: силовой пятиплунжерный, шесте-

ренный для принудительной смазки агрегата и подпиточный центробежный [3, 4, 5];

— применение в составе ВНА 5-ти плунжерных насосов с рядным расположением цилиндров с клапанным распределением рабочей жидкости и электромеханического привода с одноступенчатой зубчатой передачей на коленчатый вал и кривошипно-шатунные механизмы (КШМ) [6, 7];

— многовариантность исполнений 5-ти плунжерных силовых насосов фирмы RMI (Великобритания) и трехплунжерных насосов фирмы «Hauhinke» (Германия), путем варьирования значениями передаточного числа зубчатой передачи, диаметра и соотношением «давление-подача», при неизменных конструктивных параметрах «количество и ход поршней», что позволяет получать различные значения подачи и давления нагнетания на одном агрегате [6, 7, 8];

— переход от дискретного способа регулирования подачи рабочей жидкости (РЖ) в гидросистему механизированных крепей на плавное управление подачей и давлением от насоса, что обеспечивает плавное регулирование подачи в диапазоне от 30 % до 100 % [7];

— применение интеллектуальных систем управления, позволяющих автоматически адаптировать режим работы ВНА к оперативным условиям функционирования оборудования очистного комплекса [8];

— применение отдельных модулей для приготовления и фильтрации РЖ, контроля ее качества и температуры [9];

— оснащение ВНА встроенной системой фильтрации РЖ замкнутых гидросистем [9];

— разработка и применение фильтрационных установок в напорной магистрали с автоматической промывкой, обеспечивающих тонкость фильтрации до 50 мкм и повышение надежности управляющей гидроаппаратуры не менее, чем в 2 раза [10].

Приведенные выше подходы применяются в современных ВНА таких как: насосы типа RMI (Великобритания), насосы типа ЕНР фирмы «Hauhinke» (Германия), насосы типа СНД ГП «Донгипроуглемаш» (Украина), насосы типа R130, R180, R250 фирмы «HIDROWATT» (Швейцария).



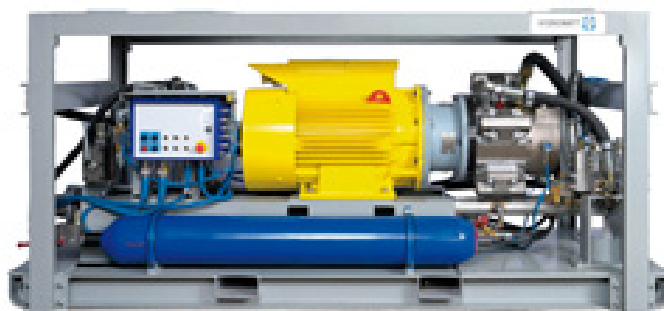


Рис. 1. Насосный агрегат типа R130

Насосные установки фирмы «HIDROWATT» (Швейцария) комплектуются высокоскоростными радиально-поршневыми насосами типа R130, R180, R250 с эксцентриковым прямым приводом от электродвигателей с частотой вращения  $n_c = 1500$  об/мин. Герметично-уплотненные цилиндро-поршневые блоки с гидродинамической, регенерирующей, тонкослойной смазкой обеспечивают высокую скорость движения поршней, отсутствие утечек и высокий КПД [1, 8].

В состав ВНА швейцарской фирмы «HIDROWAT» входят 4 модуля, связанные гидравлически и электрически [11]:

1) модуль, укомплектованный насосным агрегатом с блоком управления и гидроаккумуляторами, рис. 1;

2) модуль с подпиточным насосом, фильтрами и вспомогательными агрегатами обеспечивает оптимальное управление в системе подпитки высоконапорных насосов и очистку эмульсии;

3) модуль с емкостью для эмульсии HFA с многоуровневой успокоительной камерой и устройствами для контроля и регулирования температуры;

4) модуль с емкостью для концентрата HFA со встроенной смесительной установкой для приготовления свежей эмульсии; здесь же размещен контроллер SPS управления насосной установкой. Модульный программируемый контроллер с цветным трансфлективным дисплеем, клавиатурой и сенсорной панелью обеспечивает по выбору автоматические или ручные режимы управления.

ВНА типа СНД300/40–05 и СНД400/32–05 снабжены системой высоконапорной фильтрации повышенной грязеемкости и надежности и аппаратурой управления, контроля и диагностики АУСН. АУСН обеспечивает управление режимами, защиту от перегрева электродвигателей и масла в картерах агрегатов, блокировку станции при снижении давления подпитки ниже 0,3 МПа, при снижении уровня эмульсии в баке и при обрыве линии дистанционного управления [3].

Как следует из руководства по эксплуатации [11], виброакустические характеристики ВНА «HIDROWAT» и других зарубежных фирм, а также насосных станций СНД не отвечают современным требованиям. По данным

ИТЦ «Горные машины», в первой половине 2011 г. зарегистрировано более 20 случаев выхода из строя современных НС после наработки в течение 3–6 месяцев. Основной причиной этого являются высокие уровни вибрации и шума, генерируемые ВНА НС [1, 2].

Так, при работе ВНА типа СНД150/40 в номинальном режиме (подача

$Q = 150$  л/мин, давление  $P = 40$  МПа), амплитудный и частотный спектры вибраций дополняются резонансными крутильными колебаниями, вследствие гидродинамического (силового) воздействия на привод силового воздействия  $M_{сш}(t)$  от полезной технологической нагрузки и кинематических возмущений от инерционных нагрузок в КШМ [4]:

$$M_{сш}(t) \approx 670 + 35\cos\omega_3 t - 5\cos 2\omega_3 t, \text{ Нм.}$$

Следует заметить, что амплитуда первой гармоники силового воздействия от полезной нагрузки зависит от инерционности нагнетательных клапанов и количества плунжеров.

Результаты исследований [4] динамических свойств и вибрационных процессов пяти плунжерных ВНА СНД150/40 качественно совпадают с аналогичными характеристиками 3-х плунжерных ВНА, комплектуемых асинхронными двигателями мощностью 55 кВт с частотой вращения  $n_c = 1500$  об/мин. Следовательно, в приводе современных ВНА типа СНД150/40 формируются опасные резонансные крутильные колебания, которые являются причинами высоких уровней вибрации и шума, снижающих безопасность эксплуатации агрегата и его приводного двигателя, и оказывающих отрицательное воздействие на обслуживающий персонал, повышающих опасность травматизма.

Кинематические и динамические характеристики КШМ в приводе ВНА также оказывают существенное влияние на уровень неуравновешенных вибрационных нагрузок и их частотный спектр. С повышением ускорений движения вращающихся и возвратно-поступательно перемещающихся масс кривошипно-шатунных механизмов (КШМ) возрастают уровни крутильных и линейных вибраций, а увеличение параметра  $\lambda = r/l$  (отношение длины кривошипа  $r$  к длине шатуна  $l$ ) обуславливает необходимость учета большего числа ви-

Таблица 1

Результаты определения шумовой характеристики СНД300/40

Параметр	Значение параметров дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Средние уровни с учетом шумового фона и постоянной помещения	70	77	75	78	84	88	86	76	67	91
Допустимые уровни шума, согласно ГОСТ 12.1.003	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Превышение допустимых уровней шума	—	—	—	—	6	13	13	5	—	11

брационных гармоник при расчетах динамических нагрузок ВНА.

Проведенные испытания НС типа СНД300/40 на испытательной площадке машиностроительного завода, подтвердили высокие уровни шума, табл. 1.

Из табл. 1 следует, что современная НС типа СНД300/40 работает при высоких уровнях шума, следовательно, и уровни вибрации их ВНА так же повышенные.

#### Выводы и направление дальнейших исследований

1. Рассмотрены направления совершенствования современных ВНА и установлено, что генерируемые ими уровни вибрации и шума превышают допустимые значения; это свидетельствуют о том, что закономерности рабочих процессов ВНА и оптимизации их конструктивных параметров еще не в полной мере изучены.

2. Опыт эксплуатации показал, что показатели надежности и безопасности современных ВНА не соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Это обстоятельство определяет актуальность научно-техни-

ческих задач, направленных на системные исследования динамических свойств современных ВНА и установление закономерностей формирования ими виброакустических процессов, с целью обоснования эффективных способов и средств снижения вибрации и шума до безопасных уровней и обеспечения тем самым надежности эксплуатации ГЭУ в целом.

3. Для создания безопасных и надежных ВНА для систем гидропривода механизированных крепей очистных комплексов необходимо на стадии проектирования проводить исследования динамических свойств насосных агрегатов и их рабочих процессов с целью оптимизации структуры агрегата, параметров привода и способа управления.

4. Снижение опасности от вибрации и шума должно быть достигнуто за счет повышения качества проектирования и технологии изготовления ВНА и ГЭУ в целом, путем исключения резонансных явлений и обеспечения запасов прочности деталей ГЭУ и всей гидросистемы очистного механизированного комплекса на основе применения высокотехнологичного оборудования и интеллектуальных систем управления и диагностики.

#### Литература:

1. Гуляев В. Г. Виброакустические процессы и надежность гидроэнергетических установок очистных комплексов: [Монография] / В. Г. Гуляев, К. В. Гуляев, С. А. Китаева; под общ. ред. В. Г. Гуляева. — Донецк: Технопарк «УНИТЕХ», 2012. — 224 с.
2. Китаева С. А. Обоснование способов и средств достижения безопасных уровней виброакустических характеристик гидроэнергетических установок очистных механизированных комплексов [Текст]: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 25.01.2013 / Китаева Светлана Анатольевна, МакНИИ. — Макеевка, 2013. — 20 с.
3. Косарев В. В. Насосные станции ГП «Донгипроуглемаш» нового поколения как источник гидравлической энергии в составе гидропривода механизированных крепей / В. В. Косарев, Н. И. Стадник, Ю. И. Варшавский и др. // Сб. научн. трудов ГП «Донгипроуглемаш». — 2008. — С. 484–492.
4. Гуляев В. Г. Тенденции и проблемы создания современных насосных станций для угледобывающих комплексов / В. Г. Гуляев, И. А. Квитковский, Н. В. Гутаревич, С. А. Китаева // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-електромеханічна» — 2013. — Вип. 1 (25). — С. 57–71.
5. Гуляев В. Г. Способы повышения надежности насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей / В. Г. Гуляев, И. А. Квитковский, С. А. Китаева // Вісті. Зб. Наук. праць Донецького гірничого інститута, 2013 (в печати).

6. J. A. SHAW RMI Pressure Systems Ltd Mining Products Division. QuinmaxS500 — (Горно-шахтная насосная система) // RMI Pressure Systems [www.rmipsl.com](http://www.rmipsl.com) — 4s
7. Замланд У., Дайк А., Кузнецов С. А. Преимущества использования рядных поршневых насосов с применением электродвигателей с частотным преобразователем // Глюкауф, май 2011, № 1 (2). — с. 78
8. Системы высокого давления компания RMI — гарантия эффективности и безаварийной работы лавного комплекса. ООО «ТОР «Инжиниринг» // «Уголь», декабрь 2010 — С. 34–35.
9. Косарев В. В., Стадник Н. И., Варшавский Ю. И. и др. Современные фильтры ГП «Донгипроуглемаш» для защиты гидравлических систем горных машин от загрязнений // Сб. научн. трудов ГП «Донгипроуглемаш» — Донецк: Асстро, 2008 — С. 508–537.
10. М Райтер, Ю. Векслер Влияние качества гидравлической жидкости на работу автоматизированной системы управления // «Уголь», № 1, 2008.
11. Руководство по эксплуатации и технике безопасности радиально-поршневого насоса R180S HIDROWATT AG, Швейцария, 2011. — 50 с.

## Значение и получение терефталевой кислоты

Хатмуллина Диана Данисовна, студент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Полимерные материалы и среди них химические волокна действительно входят в быт человека. До начала XX столетия применялись только те из них, которые являлись продуктами растительного и животного происхождения (хлопок, шерсть, лубяные волокна и т. д.). С появлением синтетических волокон последние стали быстро вытеснять натуральные волокна.

Важнейшими мономерами для производства полиэфирных волокон являются терефталевая кислота (ТФК) и диметилтерефталат (ДМТ).

Терефталевая кислота является одним из важнейших химических продуктов, используемых для производства полиэфирных волокон, полиоксадиазолов, полибензимидазолов, алкидных смол. Терефталевая кислота обладает большой прочностью, относительно высокой термостойкостью, а также высокие диэлектрические характеристики, которые позволяют применять полиэфирные материалы для производства шинного корда, транспортерных лент, приводных ремней, парусов, пожарных рукавов, электроизоляционных и других материалов. Из полиэфирных волокон (лавсан, терилен, дакрон) можно получать разнообразные материалы — длинный ворс, напоминающий мех, подходит для пошива пальто, курток, ковров для ванной или мягких игрушек, а грубое прочное волокно пригодно для изготовления клиновых ремней, пожарных рукавов и ковровых покрытий.

Благодаря высокой устойчивости к сминанию и способности сохранять форму, хорошему внешнему виду и достаточно низкой стоимости полиэфирные волокна в чистом виде или в смеси с другими волокнами используют для изготовления широкого ассортимента товаров народного потребления: платяной и костюмной тканей, верхнего трикотажа, занавесей, постельного белья, изделий из искусственной замши и искусственного меха.

Приведенные выше свойства полиэфирных волокон обусловили наиболее крупнотоннажное производство по сравнению с производством волокон других видов.

Терефталевая кислота (1,4-бензолдикарбоновая кислота, п-фталевая кислота) является основным исходным продуктом для получения полиэтилентерефталата (ПЭТФ), гранулят которого в свою очередь используется для производства искусственного волокна, пластиковых бутылок, пленки, пластмассы.

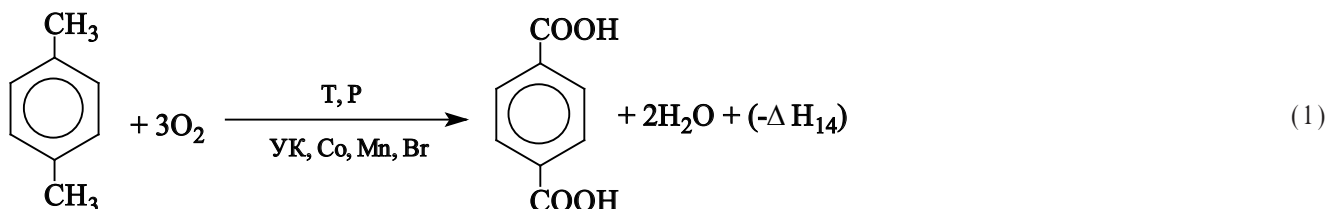
Сырьем для производства терефталевой кислоты могут служить разные п-диалкилбензолы: п-ксилол, п-цимол, п-диэтил- и п-диизопропилбензол, а в последнее время применяется также толуол. Из окислителей наибольшее значение имеют азотная кислота и молекулярный кислород.

Из п-диалкилбензолов лучшим сырьем для окисления в терефталевую кислоту является п-ксилол. Он более доступен и, кроме того, при жидкофазном окислении п-ксилола молекулярным кислородом образуется преимущественно п-толуиловая кислота, для дальнейшего окисления которой требуется менее жесткие условия, чем для окисления промежуточных продуктов, образуемых другими п-диалкилбензолами.

В связи с развитием нефтехимической промышленности и значительным увеличением производства п-ксилола в известной степени утратили свое практическое значение способы получения диметилтерефталат (ДМТ) из толуола и п-цимола. Все большее значение приобретают процессы, позволяющие получать ТФК методом жидкофазного каталитического окисления п-ксилола с последующей ее этерификацией метанолом до ДМТ.

Процесс получения органической кислоты (терефталевой), далее технической терефталевой кислоты (ТФК) основан на реакции жидкофазного окисления параксилола (PX) кислородом воздуха в среде реакционного растворителя (RQ). В качестве катализатора используется раствор смеси кобальта (II) уксуснокислого 4-водный и марганца (II) уксуснокислого 4-водный с добавлением промотора в виде тетрабромэтана (ТБЭ).

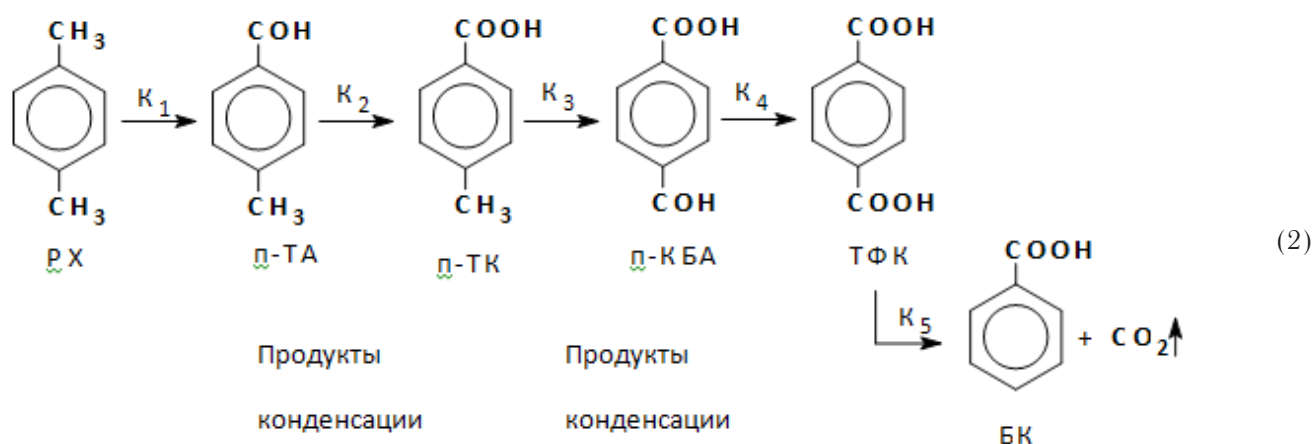
Брутто-реакция образования ТФК описывается схемой (1):



Тепловой эффект реакции  $Q_p = (-\Delta H_p) = 326$  ккал/г-моль.

Процесс проводят при температуре  $185 \div 195^\circ\text{C}$  под давлением  $0,9 \div 1,1$  МПа. Теплосъем — за счет испарения реакционного растворителя (уксусной кислоты) и реакционной воды, то есть процесс осуществляется «на кипу» при температуре, определяемой давлением (упругостью паров воды и уксусной кислоты с учетом наличия в паровой фазе инертных).

Механизм реакции — радикально-цепной с короткой цепью. Упрощенно реакцию можно рассматривать как последовательно-параллельную:



где PX — параксилол,  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ ,

п-ТА — пара-толуиловый альдегид,  $\text{п-C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)\text{COH}$ ,

п-ТК — пара-толуиловая кислота,  $\text{п-C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ,

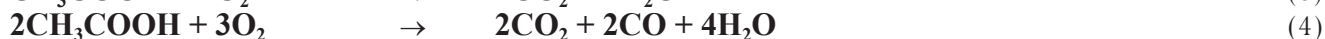
п-КБА — пара-карбоксибензальдегид,  $\text{п-C}_6\text{H}_4(\text{COH})\text{COOH}$ ,

ТФК — терефталевая кислота,  $\text{п-C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$ ,

БК — бензойная кислота,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ,

$K_i$  — константа скорости  $i$  стадии реакций окисления.

Кроме образования бензойной кислоты и продуктов конденсации, основной побочной реакцией является деструктивное окисление уксусной кислоты и образование метилацетата (МА):



Значение констант скоростей последовательных реакций по схеме (2), при равных значениях концентраций реагирующих компонентов, располагаются в следующей последовательности:

$$K_2 > K_4 > K_1 > K_3 \quad (7)$$

Как видно из зависимости (7), лимитирующей стадией реакции является окисление п-ТК в п-КБА, поэтому процедура оптимизации процесса окисления, в конечном итоге, должна быть направлена на обеспечение благоприятных условий для увеличения скорости реакции  $K_3$ .

На процесс окисления параксилола оказывают влияние различные факторы:

## 1. Влияние катализатора

Увеличение концентрации катализатора и промотора существенно повышает общую скорость процесса.

Оптимальная комбинация кобальта (II) уксуснокислого 4-водного, марганца (II) уксуснокислого 4-водного, тетрабромэтан ускоряет лимитирующую стадию процесса, позволяя уменьшить температуру реакции и улучшить качество ТФК, особенно по цвету.

## 2. Влияние температуры и давления

Температура процесса поддерживается посредством регулирования давления в реакторе окисления сбросом абгазов в систему очистки. Повышение температуры в области  $180 \div 230^\circ\text{C}$  ускоряет процесс окисления, повышая конверсию параксилола, что уменьшает содержание примесей в ТФК. Но с ускорением скорости основного процесса повышение температуры увеличивает скорость побочных процессов деструкции уксусной кислоты, параксилола и промежуточных продуктов окисления с образованием  $\text{CO}_2 + \text{CO}$ . При высоких температурах ( $200 \div 230^\circ\text{C}$ ) повышение температуры на  $10^\circ\text{C}$  увеличивает содержание  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  в абгазах почти в два раза. В области низких температур (менее  $200^\circ\text{C}$ ) образование  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  идет, в основном, за счет разложения уксусной кислоты. При более высокой температуре возрастает доля  $\text{CO}_2 + \text{CO}$ , образующихся за счет деструкции параксилола и продуктов его окисления.

## 3. Влияние концентрации воды в реакционной массе

При высоких концентрациях вода оказывает дезактивирующее влияние на катализатор. Наличие ионов марганца повышает устойчивость каталитической системы к действию воды. Концентрация воды влияет на концентрацию кислорода в паро-газовой фазе и на образование  $\text{CO}_2 + \text{CO}$ . Область оптимальных концентраций  $\text{H}_2\text{O}$ , в которой образуется минимальное количество  $\text{CO}_2 + \text{CO}$ , лежит в пределах  $6 \div 10,5\%$  (предпочтительно  $8 \div 10\%$ ), низкое значение  $\text{H}_2\text{O}$  заметно повышает содержание  $\text{CO}_2 + \text{CO}$ .

## 4. Влияние среднего времени пребывания жидких реагентов (удельной нагрузки по параксилолу)

При увеличении удельной нагрузки по параксилолу среднее время пребывания жидких реагентов  $\tau_{\text{ср}}$  уменьшается, что приводит к уменьшению конверсии параксилола. При этом в реакционной массе концентрация промежуточных продуктов окисления, в том числе и пара-карбоксибензальдегид, увеличивается, кристаллизация идет при повышенном концентрационном фоне по пара-карбоксибензальдегиду, что приводит к повышению содержания пара-карбоксибензальдегида в ТФК.

Так как  $\tau_{\text{ср}}$ , или удельная нагрузка по параксилолу, определяет съем ТФК с единицы реакционного объема, то определение оптимального  $\tau_{\text{ср}}$  является, в основном, экономической задачей — в промышленных условиях  $\tau_{\text{ср}} \approx 30 \div 120$  минут в зависимости от температуры реакции.

На основании вышеизложенного приводятся оптимальные параметры процесса:

— давление в реакторе 1TD-201, МПа	$0,9 \div 1,1$ (оптимальное — 1,02)
— температура в реакторе 1TD-201, $^\circ\text{C}$	$185 \div 195$ (оптимальное — 186)
— соотношение уксусной кислоты к параксилолу	$5 \div 6/1$ (оптимальное — $5,4/1$ )
— время пребывания в реакторе 1TD-201, минут	60
— концентрация в исходной реакционной смеси:	
— катализатора (кобальт (II) уксуснокислого и марганец (II) уксуснокислого), % масс, в пределах	$0,30 \div 0,40$
— тетрабромэтана, % масс, в пределах	$0,08 \div 0,10$
— силиконового масла, ppm, в пределах	$8 \div 10$
— воды, % масс, в пределах	$5 \div 6$

## Технологии будущего: от науки к инновациям

Хатмуллина Диана Данисовна, студент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

**Т**ехнологические науки — совокупность теоретических и практических дисциплин о процессах, позволяющих получить определенный продукт для дальнейшего целесообразного использования в человеческой деятельности. Все технологические науки заимствуют знание об интересующих их процессах из более фундаментальных, естественных, технических и социальных наук: физики, химии,

биологии, материаловедения, сопротивления материалов и т. д. [1]

Важнейшими категориями технологических наук являются: полезность, эффективность, стоимость и себестоимость продукта, его потребительские свойства, безопасность и надежность в использовании. Все эти категории объединяются одним термином — повышением степени по-



лезности абсолютно любой продукции у потребителей, что и является итоговой, конечной целью любой технологии.

Технологии — последовательность материальных процессов и операций, реализация которых приводит к появлению продукта (потребительской стоимости) с необходимыми полезными для дальнейшего использования человеком свойствами. Д. И. Менделеев определял технологию, как учение о выгодных приёмах переработки природных ресурсов в продукты, необходимые для применения в жизни людей. Поэтому технологические науки являются фундаментом любых технологий.

Технологические процессы относятся к системе: технологические науки — технология — техника. Эти процессы исследуют, моделируют и разрабатывают в технологических науках, осуществляют — в технологии и реализуют — в технике. При этом технология первична, а техника как результат технологии — вторична. Только полное соответствие технологических параметров их реализации в технике позволяет получить положительные результаты преобразования вещества, энергии и информации.

Таким образом, для возникновения науки необходимо:

- накопление материала знаний — истоков науки;
- дифференциация знаний с выделением рационально-практического знания;
- объективный анализ знаний в познавательных целях;
- выделение научной деятельности как особого вида гуманитарной, технологической и технической деятельности.

Дальнейшее развитие науки зависит от уровня знаний и интеллекта. Технологическая деятельность человека бесконечно разнообразна с технологическим критерием — что производить, как производить и какими средствами труда. [1]

В целом технологические науки подразделяются на теоретико-технологические науки, занимающиеся производством знаний о своих технологических объектах, и инженерно-технологические научные дисциплины. Теоретическая технология изучает и описывает закономерности предметного взаимодействия, устанавливает параметры и условия протекания процессов преобразования вещества, энергии и информации. Инженерная технология занимается конкретизацией теоретической технологии и её реализацией в производстве.

Следовательно, технология есть сумма технологических наук плюс инженерство.

Объективная необходимость требует для диалектического развития технологических наук и технологий фундаментальной подготовки инженеров с высоким уровнем знаний и интеллекта — основы модернизации производства нашей страны.

В целом, технологические науки являются основным источником качественного изменения общественного бытия. Именно степень технологизации общества определяет уровень развития нашей цивилизации. Повышение степени технологизации общества обусловлено развитием образования — повышением уровня знаний и интеллекта

(разума), выраженного в их гармоничной взаимосвязи. [3]

Следовательно, каков уровень знаний и интеллекта, таков и уровень — выпускаемой современной продукции. Поэтому, первопричиной, источником технологизации общества является высокий уровень образования — разрешение противоречия между существующим, устаревшим образованием и новейшим, прогрессивным образованием. Только повысив уровень знаний и интеллекта можно добиться успешного прогрессивного развития нашей страны.

Определяющими факторами развития технологических наук и технологий являются: экономические и социальные потребности общества и состояние науки. Так, ведущие страны мира превращаются в общества знаний и информации, где все зависит от уровня образования, науки и высоких технологий.

Наука — познание объективных истин в их объективном отражении законов и свойств Природы, общества и самого человека. [3]

В итоге наука является началом высоких технологий — без науки ни о каких высоких технологиях не может быть и речи.

Комплексный характер технологической науки выражается в органической связи научных знаний о человеке, материальной технике и качественно определенном предмете труда. При этом, знания и информация являются существенными ресурсами в материальном производстве технологических процессах.

Поэтому технологические науки представляют собой системы научных знаний о закономерностях функционирования и развития технологического способа производства благ в материальной жизни общества. Центральным основанием технологических наук является их единство с конкретными науками с формированием технологической картины Мира.

Современными направлениями развития технологических наук являются: нанотехнологии, биотехнологии, химические технологии, технологии управления, технологии нефтедобычи, технологии энергосбережения, металлургические технологии, горнодобывающие технологии и многие другие.

Нанотехнологии:

Нанотехнологии несут переворот в технологической науке. Если раньше человек брал из Природы познанные технологии, то нанотехнологии позволяют создавать новые, еще пока непознанные технологии Природы. Это позволяет синтезировать новые материалы и создавать изделия с заданными свойствами.

Поэтому основными направлениями развития нанотехнологий в технологической науке являются следующие: [12]

- формирование новых материалов и изделий с заданными свойствами и высокой степенью полезности любой продукции у потребителей;
- планарные технологии — последовательное нанесение на подложку ряда слоев различных материалов, что



позволяет значительно изменить их свойства путем изменения напряжения между слоями;

- наноспинтронная технология — это управление спином электронов в наночастицах, что позволяет регулировать магнитные и электрические свойства веществ;

- атомарное и молекулярное конструирование приборов и инструментов;

- моделирование нанотехнологических процессов с использованием компьютерных методов и технологий искусственного интеллекта;

- применение основного технологического параметра управления электронами и наночастицами — электромагнитной энергии;

- нанометрология;

- создание новых производств нанопродукции;

- использование конвергентных информационных технологий.

В будущем нанотехнологии (10–9 м) будут переходить в пико- (10–12 м) и фемтотехнологии (10–15 м) и др., т. е. переходить вглубь материи с повышением интенсивности различных видов электромагнитной энергии. [11]

Биотехнологии:

Биотехнологии (генная, клеточная инженерия и др.) позволяют управлять, развивать и лечить растения, животных и человека. Особое место здесь занимают бионанотехнологии — легирование клеток растений и живых организмов наночастицами, позволяющими развивать, затормаживать и уничтожать (больные) клетки в зависимости от состава и свойств наночастиц под воздействием электромагнитной энергии по прототипу легирования металлов. Так, например, по бионанотехнологии получили пуленепробиваемую кожу; предложено легировать торф наночастицами с получением наноторфа и др.

Энергетические технологии:

- технологии переработки гелия. Это благородный газ, составляющий 23 % космической массы и занимающий в Космосе второе место после водорода. Гелий 3 является экологически чистым топливом и представляет собой высокоэффективный энергоноситель. Но его на Земле практически нет, а на Луне сколько угодно. Поэтому доставка гелия 3 на Землю позволит решить многие энергетические проблемы;

- ядерные технологии переработки урана 238 путем использования реакторов на быстрых нейтронах с освоением сверхтяжелых элементов. Существующие ядерные реакторы с водяным охлаждением ненадежны. Разработанный сотрудниками, физтеха УрФУ А. Р. Бекетовым и С. П. Распопиным ядерный реактор нового поколения с расплавленной активной зоной безопасен и обладает замкнутым топливным ядерным циклом.

- газогидратные технологии. Из всех доступных видов топлива природный газ обладает наиболее полным сгоранием, является источником наиболее экологически чистой энергии. Наиболее эффективной технологией, существенно снижающей стоимость газа, является его транспортировка в виде газовых гидратов в контейнерах и брикетах.

Ископаемые газогидраты это твердое соединение воды и газа, где 1 м<sup>3</sup> газогидрата содержит 200 м<sup>3</sup> газа. Запасы газогидрата охватывают треть всей суши Земли и девять десятых Мирового океана. Следовательно, энергетической проблемы на Земле не существует: необходимо строить атомные энергостанции нового поколения, полностью безопасные; бурить скважины для добычи газогидратов, подавать газ на электростанции с переводом жилья на электроэнергию, расширять производство электроэнергии Солнца, термоэлектричества, ветра и воды, расширять производство магнитных двигателей и др.

Ионосферный круговой ток открывает новые энергетические перспективы для Земли при создании космических электростанций, мощность которых на два порядка превышает мощность всех электростанций Мира. Органические ископаемые ресурсы энергии будут перемещаться в химическую промышленность.

Термоэлектрические технологии относятся к энергетике будущего и позволяют получать энергию с низкой стоимостью и высоким КПД.

Магнитные двигатели, разработанные на основе мультиэлектронной теории сверхпроводимости для 290 кВт электростанций, могут быть использованы для автономного питания бытовых электроприборов, силовых установок, судов, самолетов, автомобилей, космических станций и др.

Горнодобывающие технологии:

Горнодобывающие технологии заключаются в безотвальном использовании каждого 1 м<sup>3</sup> добытой породы с наибольшей степенью полезности её применения для производства различных материалов и изделий. Отвалы являются результатом разорванной единой технологической цепочки, когда отходы одного производства являются ценнейшим сырьем для другого производства. Эта проблема решается введением рациональной налоговой системы: предприятия, работающие на отвальном сырье полностью освобождаются от всех налогов на 10–20 лет, а для предприятий с отходами вводится максимальный налог.

Горнодобывающие технологии включают в себя следующие факторы:

- подключают отраслевую науку для разработки технологий производства из отходов продукции нового поколения с максимальной прибылью;

- используют технологии разделения отвальных пород и поставок их различным предприятиям;

- применяют технологии обогащения без отходов.

Ещё Д. И. Менделеев говорил о том, что «развивать надо только те производства, которые не дают отходов». Основой такого развития являются технологические науки.

Химические технологии:

Химические технологии — естественная прикладная наука о способах и процессах производства продуктов, осуществляемых с участием химических превращений, технически, экономически и социально целесообразным путем. Здесь объектом изучения является химическое производство.

Химическая технология подразделяется на две группы: неорганическая химическая технология (производство химических соединений, продуктов ядерно-промышленного комплекса, металлургию и др.) и органическая (биотехнология, высокомолекулярный синтез, и др.).

Основой химической технологии являются химические науки в области химико-технологических систем, познание в которых происходит в двух процессах: научном и инженерном. Оба эти процесса осуществляются вследствие диалектического развития нового познания и созидания — разрешения противоречия между устаревшим и новым, прогрессивным. [9]

Математические технологии:

Математические технологии — это условно любые технологии, выраженные в математической форме в виде матриц и алгоритмов с компьютерными программами искусственного интеллекта.

Следовательно, каждая технология имеет свою матрицу, свой алгоритм с компьютерной программой искусственного интеллекта. В итоге форма технологий — математическая с необходимым описанием, а содержание технологий — диалектический материализм в виде технологической формы движения материи. Конкретизация этого положения выражается в том, что в основе технологий лежат технологические науки, представляющие собой синтез последних достижений фундаментальных наук, техники и социологии [17]

Математические технологии позволяют: качественно и количественно управлять технологиями, стабилизировать производство на данном уровне развития, получать

продукцию постоянного качества и в дальнейшем диалектически совершенствовать и развивать новые, высокие технологии.

Космические технологии:

Космические технологии — попытки использовать космические процессы, открытые астрономами, в земных условиях. К ним относятся, например, БАК — большой адронный коллайдер, многочисленные ядерные реакции и др. Так, астрономами обнаружен во Вселенной самый прочный материал, в котором связаны ядра железа и никеля — его прочность в десять миллиардов раз выше прочность стали. В земных условиях — это минералы камасит  $\alpha$ -(Fe, Ni) и тэнит  $\gamma$ -(Fe, Ni), прочность которых меньше прочности стали. Следовательно, ядерные реакции, основанные на ядерных связях, существенно повышают прочность материалов по сравнению с существующими химическими реакциями, основанными на электронных связях: ковалентных, ионных, металлических и мультиэлектронных.

Технологические науки и технологии также безграничны и бесчисленны, что открывает перед нами широчайшие возможности познания новых свойств материи и создания материалов и изделий нового поколения.

В целом технологические науки являются основным источником качественного изменения общественного бытия. Именно степень технологизации общества определяет уровень развития нашей цивилизации. Повышение степени технологизации общества обусловлено развитием образования — повышением уровня знаний и интеллекта (разума), выраженного в их гармоничной взаимосвязи.

#### Литература:

1. Бондаренко А. Д. Современная технология: теория и практика. — Киев, 1985
2. Горохов В. Г., Симоненко О. Д. Социальные и методологические проблемы новой техники и технологии // Вопросы философии. — 1988. — № 1
3. Горохов В. Г., Степин В. С. Философия науки и техники. — М., 1995
4. Князев В. Н. Человек и технология. — Киев, 1990
5. Мелешенко Ю. С. Техника и закономерности ее развития. — Л., 1970
6. Методологические проблемы создания новой техники и технологии. — Новосибирск, 1989
7. Наука и технология: методологические и социально-экономические аспекты взаимодействия. — М., 1990
8. Философские вопросы технического знания. — М., 1984
9. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Учебник. Под общ. ред. В. Г. Айнштейна. В 2 кн. - М. Химия, 2000. - 1760 с. ил.
10. Платонов А. Ю. Акимов Г. С. Чистоклетов В. Н. Майорова Е. Д. Органическая химия. Теоретические основы прогрессивных технологий. Химические и биологические основы. Рабочая программа. Контрольные задания N1 и N2. - СПб, 2000. - 32 с.
11. М. В. Алфимов. Научно-технический журнал «Российские нанотехнологии», том 5, № 9—10 2010 г.
12. Научно-информационный портал по нанотехнологиям, <http://nano-info.ru/post/532>
13. Рыбалкина М. «Нанотехнологии для всех». М.: УРСС. 2005. 444 с.
14. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию/Н. Кобаяси. — М.: Бином, 2005—134с
15. Чаплыгин А. «нанотехнологии в электронике» / А. Чаплыгин. — 2005 М.: Техносфера
16. Бушуев В. В. Троицкий А. А. Энергоэффективность и экономика России. // Энергия: техника, экономика, экология. 2004. № 5.
17. Белолипецкий А. А. Экономико-математические методы: учеб. / А. А. Белолипецкий, В. А. Горелик. — М.: Академия, 2010. — 363 с.

*Научное издание*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ТРАДИЦИИ И ИННОВАЦИИ (II)

Международная научная конференция  
г. Челябинск, октябрь 2013 г.

*Материалы печатаются в авторской редакции*

Дизайн обложки: *Е. А. Шишков*

Верстка: *П. Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.10.2013. Формат 60х90 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 11,05. Уч.-изд. л. 7,83. Тираж 300 экз. Заказ 76499.

Отпечатано в типографии «Два комсомольца»  
454008, г. Челябинск, пр. Комсомольский, д. 2