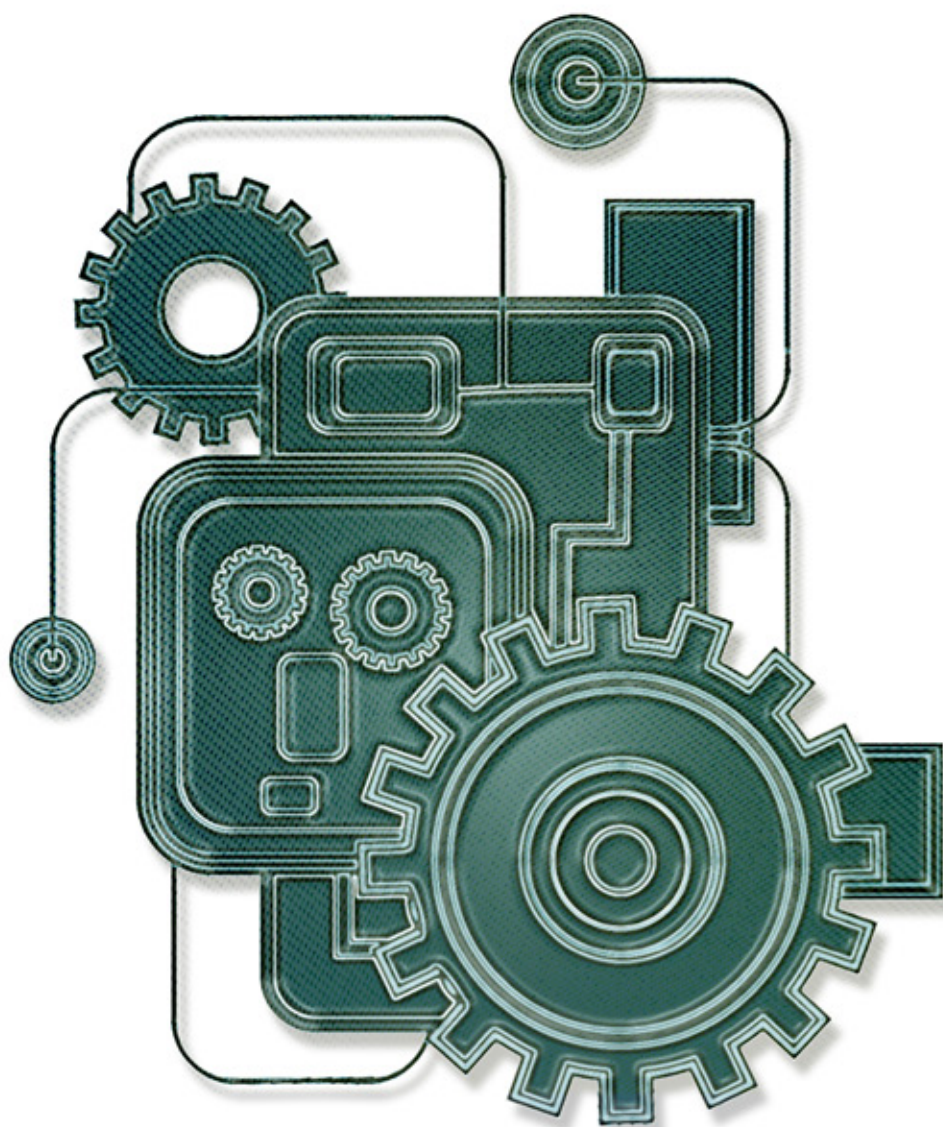


Международная заочная научная конференция

# «Актуальные вопросы технических наук»



Пермь

УДК 62(01)  
ББК 30  
А43

Редакционная коллегия сборника:

*Г.Д. Ахметова, М.Н. Ахметова, О.А. Воложанина, С.Н. Драчева,  
Ю.В. Иванова, М.Г. Комогорцев, К.С. Лактионов*

Ответственный редактор: *О.А. Шульга*

**Актуальные** вопросы технических наук: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Пермь, А43 июль 2011 г.). / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. — Пермь: Меркурий, 2011. — 80 с.

ISBN 978-5-88187-424-7

В сборнике представлены материалы международной заочной научной конференции «Актуальные вопросы технических наук».

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

**Артюхов Ю.В.**

Анализ схем разделения секрета, использующих вероятностный и комбинаторный подход в реализации пороговых криптосистем, функционирующих в распределенных компьютерных системах ..... 5

**Боршевников А.Е.**

Квантовый компьютер в России – миф или реальность? ..... 8

**Искакова К.А., Еримбетова Ж., Искакова А., Нуралем Н.**

3D моделирование и расчёт ОЦК и ГЦК структур ..... 10

**Ангелович Д.В., Коломиец И.А.**

Определение оптимального разложения речевого сигнала в адаптивном вейвлет-базисе в задаче сжатия речевого сигнала ..... 13

**Корчак А.В., Савина О.А.**

Использование UML при проектировании АСНИ лепестковых подшипников ..... 16

**Равшанов Н., Шарипов Д.К., Хамдамова Р.**

Модель и численный алгоритм для исследования процесса распространения вредных веществ в атмосфере ..... 20

**Смирнов Е.А.**

Информационная система для моделирования распространения загрязнения атмосферного воздуха с использованием ArcGIS ..... 27

**Уляхина Д.А., Еремина В.В.**

Применение кибернетической модели для построения оптических спектров воды ..... 31

**Шкуратов А.В.**

Состав программного обеспечения для комплекса мониторинга лесопожарной обстановки ..... 34

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Дмитриев П.И.**

Система управления знаниями предприятия-разработчика программного обеспечения для телекоммуникационной отрасли ..... 37

**Белков И.Г., Еремеев Ю.В., Малышев И.Н.**

Измерение комплексного коэффициента отражения резистивных компонентов с использованием зондовых измерительных преобразователей с коммутацией встроенной нагрузки ..... 41

## 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Сафонова Ю.А., Сафонов И.Д.**

Системные решения автоматизации современного здания ..... 45

## 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**Черемисин В.Т., Бренков С.Н.**

Управление электроустановками с применением зависимой выдержки времени. . . . . 48

## 5. ЭНЕРГЕТИКА

**Афанасьев В.В.**

Влияние основных факторов на показатели структурной и балансовой надежности электроэнергетической системы . . . . . 51

**Дынькин Б.Е., Завражин В.В.**

Сравнительный анализ существующих методов определения повреждения тяговой сети . . . . . 53

**Иванов В.А.**

Исследование целесообразности использования автономных систем теплоснабжения на Севере. . . . . 57

## 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

**Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т.**

Лабораторные исследования процесса обжига медного сульфидного концентрата и выщелачивания обожженного продукта . . . . . 59

## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Данатаров А., Ашыров С.Ч.**

Плотность почвы как один из критериев глубины ее обработки в условиях Туркменистана. . . . . 63

**Данатаров А., Ашыров С.Ч.**

Повышение эффективности обработки в условиях мелиоративного земледелия . . . . . 64

**Дорофеев Д.В.**

Метод определения формы модификации зубчатых колес для повышения их нагрузочной способности . . . . . 66

## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

**Быков К.В.**

Разработка способа прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью . . . . 69

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

**Калиновская И.Н.**

Нейтрализация статического электричества на поверхности текстильных настенных покрытий в процессе их производства . . . . . 71

**Полева Е.А.**

Оценка состояния неоландшафта Старооскольского района . . . . . 73

**Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Свергузова С.В., Фетисов Д.Д., Шарпеткин Е.А.**

Технические средства для вибрационно-центробежного гранулирования техногенных материалов . . . 76

# 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

## Анализ схем разделения секрета, использующих вероятностный и комбинаторный подход в реализации пороговых криптосистем, функционирующих в распределенных компьютерных системах

Артюхов Ю.В., аспирант

Ставропольский государственный университет

Методы пространственного разделения секретной информации образуют одну из основ систем активной безопасности распределённых компьютерных систем. Среди таких методов широко применяются криптографические схемы разделения секрета. Необходимо пояснить, что данные схемы позволяют разделить секрет между некоторым количеством участников обмена информацией, соблюдая следующие условия [2, 3]:

1. Заранее заданные разрешенные множества участников, образующие структуру доступа, могут однозначно восстановить секрет.

2. Участники, образующие неразрешенные множества, не могут получить никакой дополнительной к имеющейся априорной информации о возможном значении секрета.

Пусть в информационном взаимодействии участвуют  $n$  абонентов. Обозначим множество всех абонентов через  $A$ , где  $A = \{1, 2, \dots, n\}$ . Далее обозначим  $\Gamma$  — как некоторое подмножество множества  $A$ , имеем  $\Gamma = \{\Gamma' \mid \Gamma' \subset A\}$ . Множество  $\Gamma$  входят все разрешенные множества абонентов схемы, которые могут восстановить секретную информацию после процесса пространственного разделения. Если  $\Gamma' \in \Gamma$ , то  $\Gamma'$  есть разрешенное множество, иначе  $\Gamma'$  есть неразрешенное множество. Все участники схемы относительно структуры доступа  $\Gamma$  делятся на две группы: существенные и несущественные.

Участники схемы  $x$ , где  $x \in A$ , будем считать несущественными относительно  $\Gamma$ , если для любого неразрешенного множества  $\Gamma'$  множество  $\Gamma' \cup x$  также является неразрешенным. Следовательно, элемент  $x \in A$  существенен относительно структуры доступа  $\Gamma$ , при условии существования множества  $\tilde{A}'$ ,  $(x \cup \Gamma') \in \Gamma$ ;  $\Gamma' \notin \Gamma$ .

Зададим множества  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$  и совместное распределение вероятностей  $P$  на их декартовом произведении  $S = S_0 \times S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ . Соответствующие случайные величины обозначаются следующим образом  $S_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ).  $S_0$  — это множество всех возможных секретов. Значение секрета  $s_0 = S_0$  выбирается с вероятностью  $p(s_0)$  и с помощью схемы разделения секрета распределяется в виде  $s_1, s_2, \dots, s_n$  между всеми абонентами схемы с вероятностью  $P_{S_0}(s_1, s_2, \dots, s_n)$ . При этом схема строится следующим образом. Каждый  $i$ -й участник получает соответствующую долю секрета  $s_i \in S_i$ , знает все множества  $S_i$ , распределения вероятностей  $p(s_0)$  и  $P_{S_0}(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , но не имеет никакой информации о проекциях секрета, которые получили другие участники схемы. Так же распределение вероятностей  $p(s_0)$  и  $P_{S_0}(s_1, s_2, \dots, s_n)$  можно заменить на

$$P(s_0, s_1, s_2, \dots, s_n) = p(s_0) \cdot P_{S_0}(s_1, s_2, \dots, s_n).$$

Рассмотрим схему разделения секрета с точки зрения теории вероятностей [1, 3].

**Определение 1.** Пара  $(P, S)$  совершенной вероятностной схемой разделения секрета, реализующей структуру доступа  $\Gamma$ , если выполнены следующие условия:

- 1)  $P(S_0 = s_0 \mid S_i = s_i, i \in \Gamma') \in \{0, 1\}$  для  $\Gamma' \in \Gamma$ .
- 2)  $P(S_0 = s_0 \mid S_i = s_i, i \in \Gamma') = P(S_0 = s_0)$  для  $\Gamma' \notin \Gamma$ .

Далее введем понятие энтропии дискретной случайной величины [4, 7, 9]. Под энтропией будем понимать меру степени неопределенности дискретной случайной величины. Если  $S$  — дискретная величина, принимающая значения  $s^1, s^2, \dots$  с распределением вероятностей  $\{p_k, k = 1, 2, \dots\}$ , где  $p_k = P(S = s^k)$ , то энтропия определяется формулой

$$H(S) = - \sum_{k=1}^{\infty} p_k \log p_k.$$

Модифицируем условия 1 и 2 из определения 1 с учетом понятия энтропии:

$$H(S_i, i \in \Gamma' \cup 0) = H(S_i, i \in \Gamma') + \delta_{\Gamma'}(\Gamma') H(S_0), \quad (1)$$

где  $\delta_{\Gamma}(\Gamma') = 0$ , если  $\Gamma' \in \Gamma$ , и  $\delta_{\Gamma}(\Gamma') = 1$  в ином случае.

Также вероятностное определение совершенной схемы разделения секрета может быть переведено на комбинаторный язык.

Существует матрица

$$C = (s_j)_{r,n+1} = \begin{pmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & \dots & s_{1n} \\ s_0 & s_2 & s_2 & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{r0} & s_{r1} & s_{r2} & \dots & s_n \end{pmatrix}.$$

Элементы данной матрицы составляют комбинаторную схему разделения секрета, а строки формируют «правила» распределения секрета. Матрицу  $C$  будем называть кодом комбинаторной схемы разделения секрета, а ее строки — словами. При выборе правила распределения секрета для заданного значения  $s_0$  необходимо случайно и равномерно выбрать строку  $c = (s_{i0} s_{i1} s_{i2} \dots s_{in})$  из тех строк матрицы  $C$ , для которых значение нулевой координаты равно  $s_0$ , т.е.  $s_{i0} = s_0$  и  $i \in \{1, 2, \dots, r\}$ . В комбинаторной модели необходимо:

- для любого множества  $\Gamma' \in \Gamma$  нулевая координата любого кодового слова из  $C$  однозначно определялась значениями его координат из множества  $\Gamma$ ;
- для любого множества  $\Gamma' \notin \Gamma$  и любых заданных значений координат из множества  $\Gamma'$ .

Исходя из вышесказанного, можно дать определение совершенной комбинаторной схемы разделения секрета:

**Определение 2.** Матрица  $C$  задает совершенную комбинаторную схему разделения секрета, реализующую структуру доступа  $\Gamma$ , если выполняются следующие условия:

Для любого множества  $\Gamma' \in \Gamma$  нулевая координата любой строки матрицы  $C$  однозначно определяется значениями ее координат из множества  $\Gamma'$ .

Для любого множества  $\Gamma' \notin \Gamma$  и любых заданных значений координат из множества  $\Gamma'$  число строк матрицы  $C$  с данным значением  $s_0$  нулевой координаты не зависит от  $s_0$ .

Необходимо отметить, что комбинаторная модель является частным случаем вероятностной модели, когда все нулевые значения  $P$  одинаковы.

Далее сформулируем более общее определение совершенной комбинаторной схемы разделения секрета [1].

За обозначение кода, полученного из  $C$  удалением координат (номера которых не принадлежат множеству  $\Gamma'$ , где  $\Gamma' \subset \{0, 1, \dots, n\}$ ), примем  $C_{\Gamma'}$ . Пусть  $\|C\|$  обозначает число различных слов в коде  $C$ . Для произвольной комбинаторной схемы, задаваемой кодом  $C$ , определим на множествах  $\Gamma' \subset \{0, 1, \dots, n\}$  функцию  $h_q(\Gamma') = \log_g \|C_{\Gamma'}\|$ , где  $q = |S_0|$ .

**Определение 3.** Будем говорить, что код  $C$  задает совершенную комбинаторную схему разделения секрета, если  $\|C_{\Gamma' \cup 0}\| = \|C_{\Gamma'}\| \times \|C_0\|^{\delta_{\Gamma}(\Gamma')}$ , или, эквивалентно, если

$$h_q(C_{\Gamma' \cup 0}) = h_q(C_{\Gamma'}) + \delta_{\Gamma}(\Gamma') \cdot h_q(C_0), \quad (2)$$

где  $\delta_{\Gamma}(\Gamma')$  определяется, так же как и в (1).

Необходимо выделить ещё одну разновидность схем разделения секрета, а именно так называемые идеальные схемы разделения секрета. Основной характеристикой таких систем заключается в том, что объем секрета не меньше объема информации, предоставляемой участнику. Для любых совершенной вероятностной схемы разделения секрета для всех  $i$  справедливо неравенство [10, 11]

$$H(S_i) \geq H(S_0). \quad (3)$$

Из неравенства (3) и из определения схемы разделения секрета следует, что совершенная вероятностная схема называется идеальной, если  $H(S_i) = H(S_0)$  для всех  $i = 1, \dots, n$ .

Структуры доступа  $\Gamma$ , для которых существуют идеальные схемы разделения секрета, могут быть описаны теорией матроидов. Матроид — классификация подмножеств некоторого множества, представляющая собой обобщение идеи независимости элементов, аналогично независимости элементов линейного пространства, на произвольное множество.

Иными словами Матроид есть конечное множество  $X$  и семейство  $I = \{I_1, I_2, \dots\}$  подмножеств множества  $X$ , называемых независимыми множествами, для которых возможно выполнение аксиом [1, 3, 6]:

1. Пустое множество независимо ( $\emptyset \in I$ ).
2. Каждое подмножество независимого множества независимо:  $\Gamma' \in I$  и  $\Gamma'' \subset \Gamma'$ , то  $\Gamma'' \in I$ .
3. Если  $\Gamma', \Gamma'' \in I$  и  $|\Gamma'| = |\Gamma''| + 1$ , то существует элемент  $a \in \Gamma' \setminus \Gamma''$  такой, что  $(a \cup \Gamma'') \in I$ .

Матроид можно определить через так называемую ранговую функцию  $r(\Gamma')$  матроида, определяемую как максимальная мощность независимого подмножества  $\Gamma'' \subseteq \Gamma'$  [3, 5]. Независимые условия задаются условием  $r(\Gamma') = |\Gamma'|$ . Опишем свойства ранговой функции:



$$1. r(\Gamma') \in Z, r(\emptyset) = 0; \quad (4)$$

$$2. r(\Gamma') \leq r(\Gamma' \cup b) \leq r(\Gamma') + 1; \quad (5)$$

$$3. \text{ Если } r(\Gamma' \cup b) = r(\Gamma' \cup c) = r(\Gamma'), \text{ то } r(\Gamma' \cup b \cup c) = r(\Gamma'). \quad (6)$$

Матроид можно задать конечным множеством элементов  $X$  и семейством  $\mathcal{Q} = \{Q_1, Q_2, \dots\}$ , множества которого являются непустыми ( $Q_i \subseteq X$ ), называемых циклами. Для таких элементов существуют аксиомы [8]:

1. Никакое собственное подмножество цикла не является циклом.

2. Если  $a \in (Q_i \cap Q_j)$ , то  $(Q_i \cup Q_j) \setminus \{a\}$  содержит цикл.

Матроид называется связным, если для любых его двух точек существует содержащий их цикл.

Существует подход согласно которому, есть связь между матроидами и совершенными схемами разделения секрета [1].

**Теорема 1.** Для любой обобщенной идеальной схемы разделения секрета  $f$ , реализующей структуру доступа  $\Gamma$ , независимые множества  $\Gamma'$ , определяемые условием  $f(\Gamma') = |\Gamma'|$ , задают связный матроид на множестве  $\{0, 1, \dots, n\}$ . Все циклы множества содержащие точку 0, имеют вид  $0 \cup \Gamma'$ , где  $\Gamma' \in \Gamma \min$ .

Из теоремы 1 следует, что между комбинаторными и вероятностными схемами разделения секрета существенной разницы нет.

Стоит учесть, что не любой матроид может быть реализован как идеальная схема разделения секрета, но при этом любой линейный матроид может быть реализован как идеальная схема разделения секрета.

В большинстве случаев для криптографической защиты секретных ключей чаще всего на практике используются пороговые криптосистемы. Данный подход обеспечивает устойчивость процесса обработки и сохранности ключевого материала в условиях неблагоприятных внешних воздействий.

#### Литература:

1. Блейкли Р.Г., Кабатянский Г.Р. Обобщение идеальные схемы, разделяющие секрет и матроиды // Проблемы передачи информации. — 1997. — Т.33. — №3. — С. 42–46.
2. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии: Учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Ростов — на — Дону: Феникс, 1997. — 268 с.
3. Введение в криптографию / Под общ. ред. В.В. Яценко. — М.: МЦНМО, «ЧеРо», 1998. — 272 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999. — 576 с.
5. Иванов М.А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. — М.: КУДИЦ — ОБРАЗ, 2001. — 368 с.
6. Математическая энциклопедия: В 5 т / под ред. И.М. Виноградова. — М.: Советская энциклопедия, 1982. — Т.3. — 1184 стб.
7. Математическая энциклопедия: В 5 т / под ред. И.М. Виноградова. — М.: Советская энциклопедия, 1984. — Т.5. — 1248 стб.
8. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. — СПб.: Питер, 2001. — 304 с.
9. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. М.: Наука, 1973. — 512 с.
10. Capocelli R.M., De Santis A., Cargano L., Vaccaro U. On the Size of Shares for Secret Sharing Schemes // J. Cryptology. — 1993. V.6 — P. 157–167.
11. Carnin E.D., Greene J.W., Hellman M.E. On Secret Sharing Systems // IEEE Trans. Inform. Theory. — 1983. — V.29. — № 1. — P.231–241.

## Квантовый компьютер в России – миф или реальность?

Боршевников А.Е., студент

Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*В данной статье рассмотрено положение в мире в области физической реализации квантового компьютера. Проведена оценка достижений в данной области. Сопоставлена ситуация по реализации квантового компьютера в мире и в России. Статья служит для оценки, перспективы создания высокопроизводительного квантового компьютера в стране, а также выделения основных путей по реализации.*

### Введение.

На данный момент, в области физики, информатики и многих других наук, возникает вопрос о физической реализации устройства, которое в теории превосходит по вычислительным способностям современные ЭВМ – квантового компьютера. Конечно же, исследования в данной области ведутся во многих странах. Страна, которая первой реализует данное устройство, сделает невероятный рывок науке. В некоторых зарубежных странах есть уже реализованные образцы квантового компьютера. Возникает вопрос: «А на каком уровне находятся исследования в области создания квантового компьютера в России, относительно наработок в этой же области, в мире?». Ответ на этот вопрос, безусловно, важен.

### Квантовый компьютер в России – миф или реальность?

Для начала надо разъяснить: что такое квантовый компьютер, как он устроен, и какие задачи он способен выполнять?

Квантовый компьютер – это гипотетическое вычислительное устройство, использующее специфически квантовые эффекты и намного превосходящее по своим возможностям любую классическую вычислительную машину.

Введем понятие квантового бита (кубита) и установим его связь с классическими битами.

Пространство состояний квантовой системы, состоящее из координат, моментов, поляризаций, спинов и т.д. различных частиц, есть гильбертово пространство волновых функций. Для квантовых вычислений нам понадобятся только конечномерные квантовые системы, и для этого будет достаточно рассмотрения комплексных векторных пространств со скалярным произведением. [1]

Идея квантовых вычислений состоит в том, что квантовая система из  $n$  двухуровневых квантовых элементов имеет  $2^n$  линейно независимых состояний, а значит, вследствие принципа квантовой суперпозиции, представляет собой  $2^n$ -мерное гильбертово пространство состояний. Операция в квантовых вычислениях соответствует повороту в этом пространстве. Таким образом, состоянием квантовой системы является точка в  $2^n$ -мерном пространстве состояний. Каждому из возможных классических состояний объектов сопоставим базисный вектор

этого векторного пространства и обозначим его, например, следующим образом  $|011\dots1\rangle$ , предполагая, что первый бит содержит 0, второй содержит 1, и так далее. Здесь под обозначением кет-вектора  $|x\rangle$  понимается, что  $x$  есть квантовое состояние.

Основу квантовых вычислений представляет такое понятие как кубит (q-bit, quantum bit). Квантовый бит или кубит – это вектор единичной длины в 2-мерном комплексном векторном пространстве, в котором зафиксирован некоторый базис:  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ . Ортонормированный базис  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  может соответствовать  $|\rightarrow\rangle$  и  $|\uparrow\rangle$  поляризациям фотона или состояниям «спин вверх», «спин вниз» электрона. Когда речь идёт о кубитах и квантовых вычислениях вообще, базис  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ , для которого проводятся все рассуждения, выбирается заранее. Будем далее считать, если особо не оговорено обратное, что этот базис одновременно является базисом измерения.

В квантовых вычислениях базисные состояния обозначаются  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , чтобы «соответствовать» значениям классического бита 0 и 1. Но, в отличие от классического бита, кубиты могут находиться в суперпозиции  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  например,  $a|0\rangle + b|1\rangle$  где  $a$  и  $b$  комплексные числа, такие что  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ . В случае с поляризацией фотона, если такая суперпозиция измеряется в базисе  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ , то вероятность того, что измерение даст  $|0\rangle$  равна  $|a|^2$ , а вероятность того, что измерение даст  $|1\rangle$  равна  $|b|^2$ .

Хотя квантовый бит может находиться в бесчисленном множестве суперпозиций состояний, путём измерения из него можно извлечь только один бит классической информации. Измерение кубита заменяет его состояние базисным. Так как каждое измерение приводит только к одному из двух состояний, т.е. к одному из базисных векторов измерительного устройства, то, как и в классической теории, есть только два возможных исхода. Измерение меняет состояние, поэтому очевидно, что состояние не может быть измерено по двум различным базисам. Более того, квантовые состояния нельзя клонировать, т.е. кубит невозможно измерить двумя способами даже косвенно, например, скопировав кубит и измеряя его копию по базисам, отличным от первоначального.

Эти же закономерности верны и для множества кубитов. В классической физике возможные состояния системы из  $n$  частиц, в которой состояние каждой частицы задается вектором в 2-мерном пространстве, образуют  $2n$ -мерное векторное пространство. Однако в



квантовой системе общее пространство состояний гораздо больше: система из  $n$  кубитов имеет пространство состояний размерности  $2^n$ . Именно этот экспоненциальный рост пространства состояний в зависимости от числа частиц даёт экспоненциальное преимущество в скорости вычислений на квантовых компьютерах в сравнении с классическими. Это обусловлено тем, что в классической системе из  $n$  частиц пространства состояний каждой частицы соединяются декартовым произведением, тогда как квантовые состояния соединяются тензорным произведением. Суперпозицию состояний такой системы будем записывать:

$$\sum_{i=0}^{2^n-1} a_i |S_i\rangle$$
, где амплитуды  $a_i$  являются комплексными числами, причем

$$\sum_{i=0}^{2^n-1} |a_i|^2 = 1$$
,  $|S_i\rangle$  базисные векторы этого гильбертова пространства. [2, стр. 1–35]

Схематически структура квантового компьютера показана на рис. 1. Квантовую часть компьютера составляют  $n$  кубитов. К каждому из них может быть приложено селективное воздействие импульсами резонансного внешнего переменного поля. Включение генераторов полей и адресация их излучения на данный кубит осуществляется под управлением классического компьютера. Изменения состояния кубитов изображаются вдоль горизонтальных линий в виде последовательности однокубитовых и двухкубитовых операций. До того как «запустить» вычислительный процесс на квантовом компьютере, все  $n$  кубитов должны быть приведены в состояние  $|0\rangle$ . Эта процедура носит название «инициализация». Ввод данных и исполнение алгоритма совершаются применением однокубитовых и двухкубитовых операций. По завершении алгоритма результат вычисления будет записан в конечном квантовом состоянии кубитов. Чтобы «считать» результат, необходимо провести квантовое измерение состояния кубитов. [3, стр. 688–695]

Основные задачи, которые может выполнить квантовый компьютер:

Квантовый компьютер способен решать задачи, которые решались бы на классическом компьютере за экс-

поненциальное время, за полиномиальное время. В то же время установлено, что многие алгоритмы, выполняемые неплохо на классических компьютерах, не ускоряются на квантовом. [5]

Разработан эффективный алгоритм факторизации целых чисел, реализуемый с помощью квантового компьютера (алгоритм Шора), который в свою очередь дискредитирует надежность шифрсистемы RSA. [2, стр. 63–87][6]

Квантовые компьютеры имеют широкие перспективы в моделировании. [7]

Перейдем теперь к рассмотрению исследований по физической реализации квантового компьютера за границей.

Квантовые компьютеры на явлении ядерного магнитного резонанса реализованы в Оксфорде (Англия) и Стэнфорде (США), опыты по реализации квантового компьютера на ионах в ловушках выполняются в Институте стандартов США с участием специалистов ведущих фирм США. [7]

В эксперименте 2001 года, выполненном группой Исаака Чуаня (Isaac Chuang), был продемонстрирован квантовый компьютер, состоявший из одной молекулы, кубитами, в которой были ядра входящих в нее атомов (семь штук). Воздействуя на эти ядра радиоимпульсами, удалось реализовать квантовый алгоритм факторизации — число 15 было разложено на простые множители. [8]

В США в Национальном институте стандартов и технологий создан 2-х кубитный программируемый квантовый компьютер. [9]

Особое место в физической реализации квантового компьютера занимает канадская компания D-Wave. Канадская частная компания D-Wave продемонстрировала 13 февраля 2007 года 16-кубитный адиабатический квантовый компьютер D-Wave Orion. Однако данная реализация оставляет слишком много вопросов. [8] В виду этого, демонстрация 11 мая 2011 года компанией D-Wave квантового компьютера D-wave One с 128 кубитным процессором вызывает сомнение. [12]

Как видно, зарубежные страны достаточно глубоко занимаются вопросом создания квантового компьютера и у них есть определенные достижения в этой области.

А какие же достижения в этой области в России?



Рис. 1. Схема квантового компьютера

В России исследования по физической реализации квантового компьютера не поставлены на должный уровень. В стране данной проблемой занимаются в основном в теоретическом аспекте. [4] Наши ученые участвуют в зарубежных проектах по реализации квантового компьютера. Однако на данный момент не создано ни одного квантового компьютера, реализующего алгоритм или моделирующий процесс. В России есть кафедры, которые посвящены этому вопросу, но нет ни одной реальной разработки. [10][11] Разработка реализации квантового компьютера существует только в плане Российской Академии Наук. [13, стр. 74]

### Выводы

На данный момент Россия отстает от стран запада в области физической реализации квантового компьютера. В то же время, в стране проводится глубокое теоретическое исследование данного вопроса. Основной задачей для государства является поддержка научных исследований в данной области. Создание квантового компьютера будет способствовать скачкообразному развитию квантовой физики, информационной безопасности, квантовой криптологии, квантовой теории информации и других.

### Литература:

1. Рифель Э, Полак В. Основы квантовых вычислений // ACM Computing Surveys, V. 32, №3, сентябрь 2000.
2. Mermin N.D. Quantum computer science // Cambridge university press, 2007.
3. Валиев К.А. Квантовая информатика: компьютеры, связь и криптография // Вестник Российской Академии Наук, том 70, №8, 2000.
4. Валиев К.А, Кокин А.А. От квантов к квантовым компьютерам. // Природа, 2002, №12. с. 28—34.
5. Ozhigov Y. Quantum computers speed up classical with probability zero // 1998.
6. Shor P.W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // 1994.
7. Газета Московского физико-технического института «За Науку» // №1473.
8. Левкович-Маслюк Л. D-Wave: кубитное шоу с моралью // Компьютера, №9, март 2007.
9. Barras C. First universal programmable quantum computer unveiled // NewScientistTech, 2009.
10. <http://qi.cs.msu.su>.
11. <http://www.ras.ru>.
12. <http://www.dwavesys.com>.
13. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года.

## 3D моделирование и расчёт ОЦК и ГЦК структур

Искакова К.А., кандидат физико-математических наук, доцент;  
Еримбетова Ж., студент; Искакова А., студент; Нуралем Н., студент  
Казахский национальный педагогический университет имени Абая (г. Алматы)

Кристаллографическая структура Fe характеризуется объёмноцентрированной решёткой. Моделирование пространственного расположения атомов Fe показало, что по сравнению с ГЦК-решёткой Si имеет периодическое повторение аperiодических групп. Относительно начала отсчёта аperiодическая группа расстояний составляет множество {3, 1, 4}. Нарушение периодичности ОЦК-решётки Fe происходит при переходе узла с №168 на узел №169. Должно быть изменение расстояния на постоянную решётки  $a_0/2$ , а оно равно  $\sqrt{5}a_0/2$ . Следующее такое нарушение происходит между узлами №530 и №531. Множество расстояний {3,5} появляется с интервалом через 422 узла. При компьютерном моделировании структуры ОЦК-решётки наблюдаются следующие закономерности. На первой сфере радиусом  $R_1 = \sqrt{3}a_0/2$  находятся 8 атомных узлов. Радиус  $R_2$  второй сферы на  $a_0/2$  больше радиуса первой сферы. Атомные узлы третьей сферы отстоят на  $a_0/2$  от второй сферы. В трёх группах атомных остовов присутствует равномерное наращивание расстояний узлов на 3, 1, 4. Этими группами ограничивается десятая сфера структуры. В этой последовательности радиус  $R_{11}$  11-ой сферы должен был измениться на  $a_0/2$ , но на этой сфере происходит разрыв этой последовательности. Имеются следующие разности радиусов:

$$\begin{aligned} 1) R_{12}-R_{11} &= R_{22}-R_{21} = R_{33}-R_{32} = R_{43}-R_{42} = R_{53}-R_{52} = R_{65}-R_{64} = R_{76}-R_{75} = R_{86}-R_{85} = R_{97}-R_{96} = R_{108}-R_{107} = \\ &= R_{119}-R_{118} = R_{129}-R_{128} = R_{140}-R_{139} = R_{161}-R_{160} = R_{171}-R_{170} = \sqrt{5}a_0/2; \\ 2) R_{39}-R_{38} &= R_{82}-R_{81} = R_{125}-R_{124} = R_{167}-R_{166} = \sqrt{7}a_0/2; \\ 3) R_{151}-R_{150} &= \sqrt{2}a_0. \end{aligned}$$

То же самое происходит и в других парах соседних сфер.

Для такого же максимального радиуса координационной сферы в ГЦК-решётке Си наблюдаются следующие закономерности. Имеются следующие разности радиусов:

$$R_{14}-R_{13}=R_{29}-R_{28}=R_{44}-R_{43}=R_{53}-R_{52}=R_{58}-R_{57}=R_{73}-R_{72}=R_{88}-R_{87}=R_{103}-R_{102}=R_{112}-R_{111}=R_{117}-R_{116}=R_{118}-R_{117}=R_{131}-R_{130}=R_{146}-R_{145}=R_{147}-R_{146}=R_{152}-R_{151}=R_{157}-R_{156}=R_{164}-R_{163}=R_{165}-R_{164}=R_{166}-R_{165}=R_{169}-R_{168}=R_{176}-R_{175}=a_0/2.$$

$$1) R_{150}-R_{149}=R_{168}-R_{167}=\sqrt{6} a_0/2.$$

Описанные закономерности для ОЦК-решётки можно выразить следующими формулами:

$$N_i = \begin{cases} N_{i-2} + D_i, & (i+1) \bmod 16 = 0, \quad (i+3) \bmod 16 = 0, \\ N_{i-1} + D_i, & (i+1) \bmod 16 \neq 0, \quad (i+3) \bmod 16 \neq 0; \end{cases}$$

$$D_i = \begin{cases} 5, & i \bmod 4 = 1, \quad i \bmod 16 = 15, \\ 3, & i \bmod 4 \neq 1, \quad i \bmod 16 \neq 15; \end{cases}$$

$$N_0 = 0; \quad N_1 = N_0 + 3;$$

$$i = 2, 3, 5, 6, 7, 9, \dots, \quad i \bmod 4 \neq 0, \quad (i+2) \bmod 16 = 0.$$

$$R_i = 3N_i - K_{(i \bmod 16) + (i \div 16)},$$

$$K_0 = 0, K_1 = 1, K_2 = 2, K_3 = 3, K_4 = 0, K_5 = 2, K_6 = 3, K_7 = 4,$$

$$K_8 = 0, K_9 = 3, K_{10} = 4, K_{11} = 5, K_{12} = 0, K_{13} = 4, K_{14} = 0, K_{15} = 3,$$

$$i = 0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, \dots, \quad i \bmod 4 \neq 0, \quad (i+2) \bmod 16 = 0.$$

Здесь выражение  $x \bmod y$  — остаток от деления  $x$  на  $y$ , а выражение  $x \div y$  — частное от деления  $x$  на  $y$ .

Компьютерное моделирование металлов с ГЦК- и ОЦК-решётками показывает, что в них наблюдаются разрывы в разностях радиусов последовательных координационных сфер. Множеством изменений радиусов в ГЦК-решётке является множество  $\{2, 4, 6\}$ , а в ОЦК-решётке — множество  $\{1, 3, 4, 5, 7, 8\}$ .

В ионном соединении NaCl атомы Na и Cl вместе составляют решётку ГЦК-структуры (хотя кристалл Na имеет ОЦК-структуру, а у Cl — сложная структура). В ГЦК-решётке NaCl расположения узлов Na и Cl сдвинуты друг относительно друга на вектор  $\{a_0/2, a_0/2, a_0/2\}$ . Компьютерная модель NaCl-ГЦК-структуры показывает, что до 95-ой координационной сферы разность радиусов соседних сфер происходит с периодическим чередованием изменения на  $a_0/2$  и  $\sqrt{2} a_0/2$ . С 95-ой сферы по 170-ую сферу периодичность изменения нарушается, появляются радиусные разности, равные  $\sqrt{3} a_0/2$ . С возрастанием радиусов координационных сфер с 170-ой сферы по 184-ую сферу при минимальном отличии количества атомов от предыдущей группы разности радиусов резко возрастают и принимают хаотические значения. Разности радиусов координационных сфер в NaCl образуют множество  $\{1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 17\}$ . Координационные числа и радиусы координационных сфер для ГЦК структур определяются по следующей формуле:

$$N_i = \begin{cases} N_{i-2} + D_i, & (i+1) \bmod 16 = 0, \quad (i+3) \bmod 16 = 0, \\ N_{i-1} + D_i, & (i+1) \bmod 16 \neq 0, \quad (i+3) \bmod 16 \neq 0; \end{cases}$$

$$D_i = \begin{cases} 5, & i \bmod 4 = 1, \quad i \bmod 16 = 15, \\ 3, & i \bmod 4 \neq 1, \quad i \bmod 16 \neq 15; \end{cases}$$

$$N_0 = 0; \quad N_1 = N_0 + 3;$$

$$i = 2, 3, 5, 6, 7, 9, \dots, \quad i \bmod 4 \neq 0, \quad (i+2) \bmod 16 = 0.$$

$$R_i = 3N_i - K_{(i \bmod 16) + (i \div 16)}, \quad i = 0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, \dots, \quad i \bmod 4 \neq 0, \quad (i+2) \bmod 16 = 0.$$

При расчёте координационных сфер элементарные ячейки ГЦК- и ОЦК-решёток представляются как сверхструктурные с заполнением положений собственных узлов атомами А, а дополнительных узлов решёток ПК — междоузельными атомами М. Заполнение атомами координационных сфер определяется на основе малой ПК-решётки с учётом октаэдрических (ОТ), тетраэдрических (Т) междоузлий.

Если атомы в решётке расположить с плотной упаковкой, то П-узлы — это центры междоузельных решёток в методике изложения пространственного распределения атомов и междоузлий по координационным сферам в кристаллах. Тетраэдрические и октаэдрические междоузлия в остов-междоузельной методике означают междоузельное пространство, окружённое атомами в узлах кристаллической решётки.

Компьютерное моделирование свойств кристаллической решётки даёт в зависимости от ресурсов современных

машин до миллиона, а при использовании системы управления базами данных (таких, как, например, Paradox 7)  $10^{10} \div 10^{12}$  атомов. По описанной методике можно получить любые из имеющихся в этих атомных системах изменения радиусов координационных сфер, количества близлежащих соседей, расположения атомов относительно координационных сфер. На рисунке Рис. 1 показана шаростержневая модель первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы показаны шарами малинового цвета, соединёнными стержнями-связями синего цвета с атомами-ближайшими соседями на сфере. Длины стержней-связей равны  $\sqrt{2}$  и 2. На рисунке Рис. 2 фронтальное перспективное изображение шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами. На рисунке Рис. 3 перспективный вид сверху шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными На рисунке Рис. 4 перспективный вид повернутой на  $45^\circ$  вокруг оси x шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными. На Рис. 5 перспективный вид шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Модель повернута на  $90^\circ$  вокруг оси z и на  $45^\circ$  вокруг оси x. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными. На Рис. 6 шаростержневая модель второй сферы ГЦК-решётки с 6 атомами (вид спереди). Атомы показаны шарами малинового цвета, соединёнными стержнями-связями синего цвета с атомами-ближайшими соседями на сфере. Длины стержней-связей равны  $\sqrt{6}$ . На Рис. 7 шаростержневая модель второй сферы ГЦК-решётки с 6 атомами (вид спереди). Атомы и стержни-связи показаны разными цветами. На Рис. 7 перспективный вид шаростержневой модели второй сферы ГЦК-решётки с 6 атомами. Модель повернута на  $45^\circ$  вокруг оси z. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными.

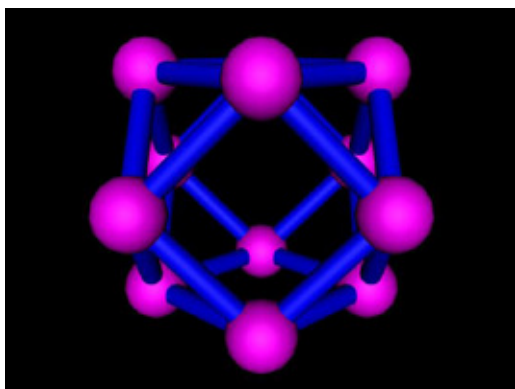


Рис. 1. Шаростержневая модель первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы показаны шарами малинового цвета, соединёнными стержнями-связями синего цвета с атомами-ближайшими соседями на сфере. Длины стержней-связей равны  $\sqrt{2}$  и 2.

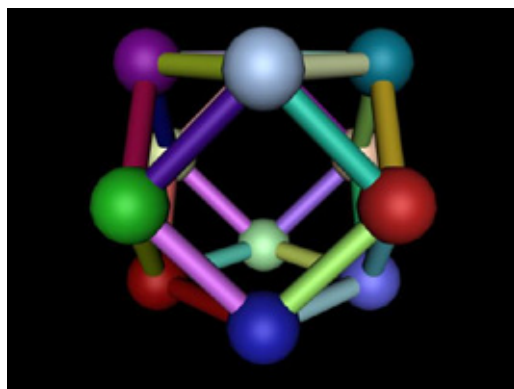


Рис. 2. Фронтальное перспективное изображение шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами.

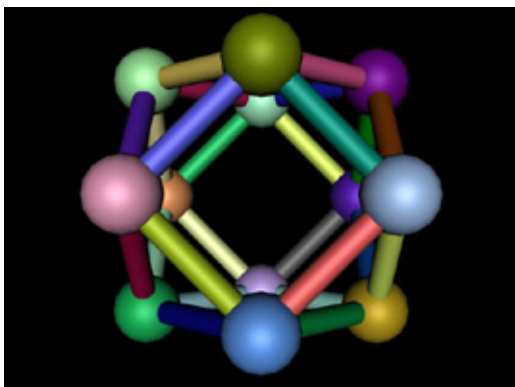


Рис. 3. Перспективный вид сверху шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными Рис. 2.

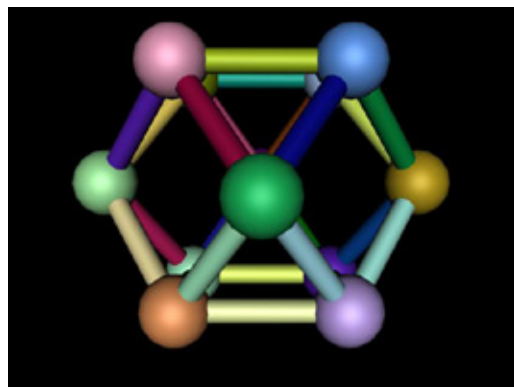


Рис. 4. Перспективный вид повернутой на  $45^\circ$  вокруг оси x шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными Рис. 2.

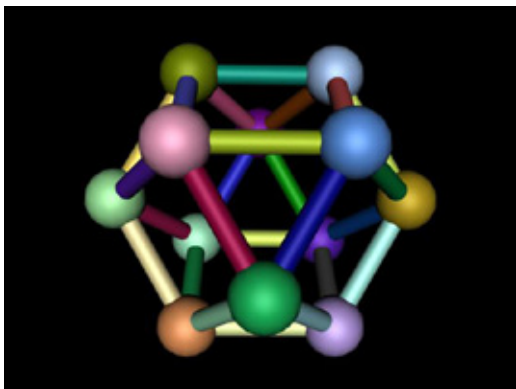


Рис. 5. Перспективный вид шаростержневой модели первой сферы ГЦК-решётки с 12 атомами. Модель повёрнута на  $90^\circ$  вокруг оси  $z$  и на  $45^\circ$  вокруг оси  $x$ . Атомы и стержни-связи показаны разными цветами, идентичными Рис. 2.

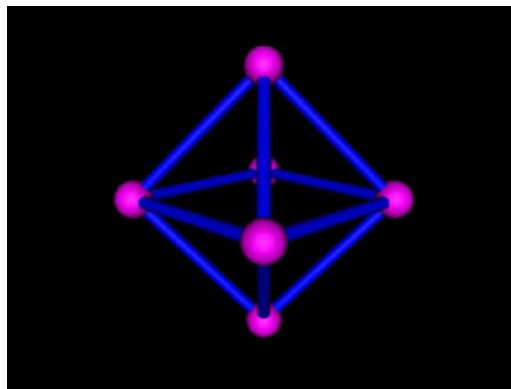


Рис. 6. Шаростержневая модель второй сферы ГЦК-решётки с 6 атомами (вид спереди). Атомы показаны шарами малинового цвета, соединёнными стержнями-связями синего цвета с атомами-ближайшими соседями на сфере. Длины стержней-связей равны  $\sqrt{6}$ .

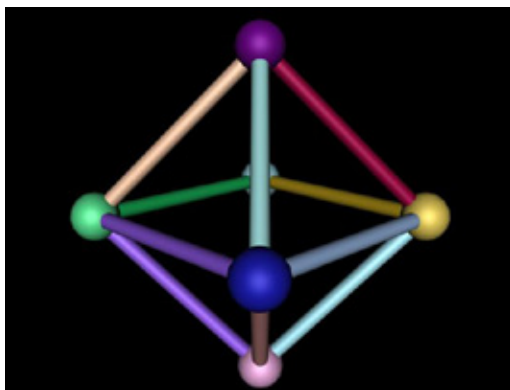


Рис. 7. Шаростержневая модель второй сферы ГЦК-решётки с 6 атомами (вид спереди). Атомы и стержни-связи показаны разными цветами.

## Определение оптимального разложения речевого сигнала в адаптивном вейвлет-базисе в задаче сжатия речевого сигнала

Ангелович Д.В., магистрант; Коломиец И.А., кандидат технических наук, доцент  
Владимирский государственный университет

**Цель работы:** поиск оптимального представления речевого сигнала для последующего сжатия с потерями.

**Задачи работы:** постановка задачи и разработка алгоритма определения оптимального базиса представления речевого сигнала.

### Введение

Постоянное увеличение количества передаваемой по сетям связи мультимедийной информации ставит задачу её оптимального представления и сжатия. Одной из наиболее важных составляющих мультимедийного трафика является аудиоинформация, и, в частности, речевая ин-

формация. На сегодняшний день известны следующие методы сжатия речевых сигналов:

1. Кодирование формы сигнала — ИКМ, дельта модуляция, ДИКМ, АДИКМ, субполосное кодирование и т.д.
2. Кодирование параметров речевого сигнала — вокодеры.



3. Гибридное или параметрическое кодирование — звукокодеры.

Данная работа ориентирована на метод кодирования речевого сигнала, основанный на представлении его в адаптивном вейвлет-базисе. В статье предлагается постановка и вариант решения нетривиальной задачи поиска оптимального представления речевого сигнала в указанном базисе.

### Исходные данные

Исходными данными для задачи являются: оцифрованный речевой сигнал  $s(t_i)$  и список вейвлетов  $W = \{w_0, w_1, \dots, w_n\}$ , где  $w_i$  — имя вейвлета,  $n$  — количество используемых вейвлетов. Речевой сигнал оцифрован с частотой дискретизации 8кГц и разрядностью отсчетов 16 бит и рассматривается как набор непрерывающихся кадров длительностью в 128 отсчетов.

Исходя из выбранной длительности кадра в 128 отсчетов, можно предъявить требования к вейвлет-пакетному разложению:

- количество уровней разложения — 4;
- размер листьев — 8 отсчетов.

### Постановка задачи поиска оптимального вейвлет-пакетного разложения

Для поиска оптимального представления из исходного речевого кадра формируется его вейвлет-пакетное разложение. Один из возможных вариантов разложения, соответствующего исходным данным, представлен на рисунке 1. Здесь  $w_i$  —  $i$ -ый вейвлет из подмножества  $W'$  определенного списка вейвлетов  $W$  ( $w_i \in W', W' \subset W$ ), а числа  $c_k$  обозначают размерность данных, к которым вейвлет  $w_i$  применяется.

Стандартная процедура вейвлет-пакетного разложения описана в [1] и здесь подробно рассматриваться не будет.

Для оценки параметров текущего вейвлет-пакетного разложения для выбранного кадра речи  $frame$ , и заданного списка используемых вейвлетов  $W' \subset W$  (при рассмотрении процедуры вейвлет-пакетного разложения не имеет значения способ выбора  $W'$ , т.к. это общая процедура и применима к любому  $W'$ ) выполняем следующую процедуру:

- 1) формируем вейвлет-пакетное разложение кадра  $frame$  в выбранном базисе  $W'$ ;
- 2) для всех листьев полученного вейвлет-пакетного разложения определяем значение энтропии Шеннона  $\{e_0, e_1, \dots, e_{list\_cnt-1}\}$ , где  $list\_cnt$  — количество листьев вейвлет-пакетного разложения;
- 3) определяем среднее значение энтропии по всем листьям разложения

$$e_{mean} = \frac{1}{list\_cnt} \sum_{i=0}^{list\_cnt-1} e_i$$

- 4) листья со значением энтропии меньше средней заменяем листьями с нулевыми значениями вейвлет-коэффициентов;
- 5) определяем количество ненулевых листьев — обозначим его  $no\_zero(frame, W')$ ;
- 6) восстанавливаем сигнал, проведя процедуру обратного вейвлет-пакетного разложения; полученный сигнал обозначим  $\tilde{s}(t_i)$ ;
- 7) оцениваем среднеквадратическую разность исходного и восстановленного сигналов

$$error(frame, W') = \sqrt{\sum_{i=0}^{frame\_size-1} (s(t_i) - \tilde{s}(t_i))^2},$$

где  $frame\_size$  — размер рассматриваемого кадра.

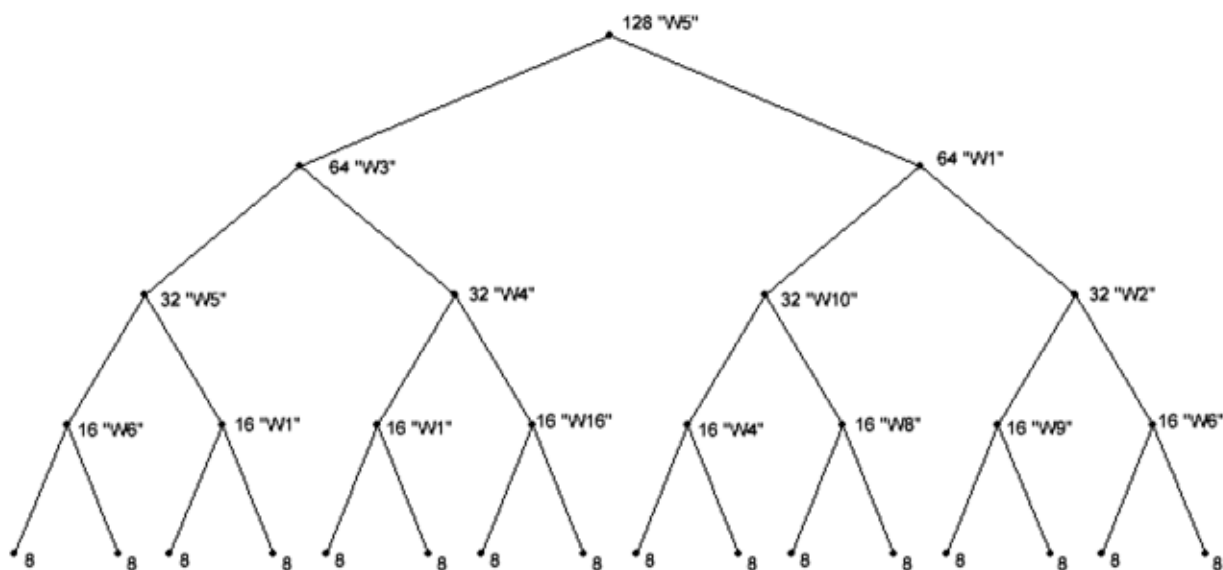


Рис. 1. Структура вейвлет-пакетного разложения



Представленная процедура для каждого кадра  $frame$  и текущего списка используемых вейвлетов  $W'$  формирует характеризующие эту пару параметры:

- 1) количество ненулевых листьев —  $no\_zero(frame, W')$ ;
- 2) коэффициент линейных искажений —  $error(frame, W')$ ;

Для поиска оптимального разложения указанные параметры можно использовать при постановке следующей задачи оптимизации: найти такое подмножество  $W'$  множества вейвлетов  $W$ , для которого

$$\begin{cases} no\_zero(frame, W') \rightarrow \min, \\ error(frame, W') \rightarrow \min \end{cases}, \quad (1)$$

Составляем целевую функцию следующим образом:

$$F(Frame, W') = \exp\{-a \cdot no\_zero(Frame, W')^2 - b \cdot error(Frame, W')^2\}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — имеют смысл некоторых нормировочных коэффициентов. Выбор вида целевой функции обусловлен её гладкостью в пространстве  $no\_zero - error$ .

Тогда задачу (1) можно переформулировать как задачу поиска такого разложения  $W'$ , для которого:

$$F(Frame, W') \rightarrow \max, \quad (3)$$

В таком виде и будем решать задачу поиска оптимального вейвлет-представления речевого сигнала.

### Формирование списка вейвлетов

Длительность исходного сигнала и количество уровней разложения (см. исходные данные) накладывает определенные ограничения на типы используемых вейвлетов, а именно — количество коэффициентов вейвлета  $W_i \in W$  не может превосходить 16, иначе невозможно получение 4-го уровня разложения. Таким образом, можно определиться с составом списка вейвлетов и их количеством.

Задача определения коэффициентов вейвлета высокого порядка сопряжена со значительными вычислительными трудностями (решение системы нелинейных уравнений высокого порядка), поэтому в своей задаче будем использовать известные вейвлеты, определенные в Wavelet toolbox — пакете расширения MATLAB.

Учитывая указанные ограничения на вейвлеты, получаем список вейвлетов применимый к нашей задаче (список сформирован по группам):

- 1) вейвлеты Добеши:  $db1, db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8$ ;
- 2) койфлеты:  $coif1, coif2$ ;
- 3) симплеты:  $sym2, sym3, sym4, sym5, sym6, sym7, sym8$ ;
- 4) биортогональные вейвлеты:  $bior1.3, bior1.5, bior2.2, bior2.4, bior2.6, bior3.1, bior3.3, bior3.5, bior3.7, bior4.4, bior5.5$ ;
- 5) обратные биортогональные вейвлеты:  $rbio1.3, rbio1.5, rbio2.2, rbio2.4, rbio2.6, rbio3.1, rbio3.3, rbio3.5, rbio3.7, rbio4.4, rbio5.5$ .

Общее количество возможных вейвлетов составляет 38. Таким образом, общее количество возможных деревьев вейвлет-пакетного разложения одного кадра речевого сигнала составляет  $38^{15} \approx 4.9 \cdot 10^{23}$ .

### Вариант решения задачи поиска оптимального вейвлет-пакетного разложения

В виду очень большого количества возможных вариантов представления исходного кадра вейвлет-пакетным разложением, применение классических методов оптимизации представляется маловозможным. Одним из возможных методов сокращения перебора может быть использование эвристических алгоритмов, а точнее генетического алгоритма [3]. Генетические алгоритмы хорошо зарекомендовали себя в задачах комбинаторной оптимизации [2, 4] (задача коммивояжера, раскраска, нахождение паросочетаний), теории расписаний [2] и т.д.

Рассмотрим, кратко, функционирование генетического алгоритма.

- 1) инициализируем начальную популяцию особей, случайным образом;
- 2) для каждой особи популяции вычисляем её приспособленность (fitness);
- 3) выполняем операции селекции, позволяющие выбрать наиболее приспособленные особи популяции; возможно несколько вариантов операции селекции: колесо рулетки, турнирная, с частичной заменой популяции и т.д.;
- 4) с определенной вероятностью выполняем операцию скрещивания (кроссовера) над полученной популяцией; возможно несколько вариантов выполнения скрещивания — точечное, блочное и т.д.;
- 5) с определенной вероятностью выполняем операторы мутации; возможные виды мутации: циклический сдвиг, обмен генов, инверсия и т.д. (после выполнения этого шага имеем новую популяцию);
- 6) выполняем проверку условия завершения алгоритма; при выполнении условия переходим к шагу 8;
- 7) выполняем инкремент номера популяции и переходим к шагу 2;
- 8) завершаем работу алгоритма.

В нашем исследовании функцией приспособленности будет являться целевая функция (2), в качестве операции селекции — турнирная селекция, операторы скрещивания и мутации — принципиального значения не имеют. Условием завершения будет превышение алгоритмом заданного количества итераций, это позволит избежать заклинивания алгоритма.

### Заключение

В статье поставлена задача на исследование и частично указанные методы исследования. Анализ данных, которые будут получены в результате исследования, даст

обширную информацию о возможности применения вейвлет-пакетного разложения к задаче оптимального представления и сжатия речевого сигнала. По результатам

исследования будет принято решение о программной реализации кодека речевых сигналов в адаптивном вейвлет-базисе.

#### *Литература:*

1. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MatLAB. — М.:ДМК Пресс, 2008. — 448 с.: ил. ISBN 5–94074–415-X.
2. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. — М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 416 с.: ил. ISBN 5–94774–241–1.
3. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87с. ISBN 5–88200–913–8.
4. Steeb W. The nonlinear workbook — World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2001. — 597 p. ISBN 981–02–4025–2.

## **Использование UML при проектировании АСНИ лепестковых подшипников**

Корчак А.В., аспирант; Савина О.А., доктор экономических наук, профессор  
Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс (г. Орел)

**Л**епестковые газодинамические подшипники (ЛГП) представляет собой самоустанавливающиеся опоры с упругой поверхностью, в которых в качестве смазочного материала используется воздух или другие газы. Высокоскоростные турбомашин с использованием лепестковых подшипников находят широкое применение в машиностроении, криогенной (низкотемпературной) технике, энергетике, газовой и химической промышленности.

Расчет лепестковых подшипников при проектировании является математически сложной задачей и часто требует проведения множества однотипных итераций. Вследствие этого, автоматизация расчетов, в том числе определение полей давления, деформаций упругих элементов, несущей способности и других характеристик работы подшипника, является значимой проблемой для турбопромышленности. Появление систем автоматизированного проектирования оказало огромное влияние на инженерную деятельность, а использование программных инструментальных средств для расчета сложных узлов, к которым относятся лепестковые подшипники, стало практически безальтернативным.

### **Теория множеств, теория графов**

Автоматизированная система научных исследований лепестковых газодинамических подшипников (АСНИ ЛГП) — это программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований лепестковых опор путем использования модели исследуемого объекта, основанной на элементах теории гидродинамической смазки и теории упругости. Основная функция АСНИ ЛГП состоит в проведении пассивного эксперимента и исследовании модели ЛГП на основе применения ма-

тематических методов и процедур управления экспериментом. Автоматизированные процедуры в АСНИ УЛГП состоят в том, что исследования объекта осуществляется путем взаимодействия пользователя с АСНИ в режиме диалога.

Целью создания АСНИ УЛГП является [1]:

- повышение эффективности и качества научных исследований на основе получения информации по результатам моделирования и уточнение с помощью АСНИ самой математической модели УЛГП;
- повышение эффективности разрабатываемых с помощью АСНИ опорных узлов, уменьшение затрат на их проектирование;
- сокращения сроков, уменьшения трудоемкости научных исследований и комплексных испытаний образцов проектируемых узлов.

UML (unified modeling language) с 1997 года является стандартом в области визуального объектно-ориентированного моделирования и широко используется на практике, будучи реализован в рамках многих CASE-средств [2]. На рисунке 1 изображена ситуация, существовавшая в программировании до создания языка UML. На нем показаны с одной стороны разработчики и воображаемые ими модели программ, с другой стороны — коды программ и объект автоматизации [3]. Как видно из рисунка 1, объединение исходного кода программы с объектом автоматизации осуществляется только в сознании программиста, а документальная связь между ними отсутствует.

После появления UML (рисунок 2) диаграммы и спецификации языка UML связали исходный текст программ с характеристиками объекта автоматизации напрямую. При этом диаграммы опираются на теоретический фундамент в виде теории множеств и теории графов, наличие



Рис. 1. Технология программирования до появления UML

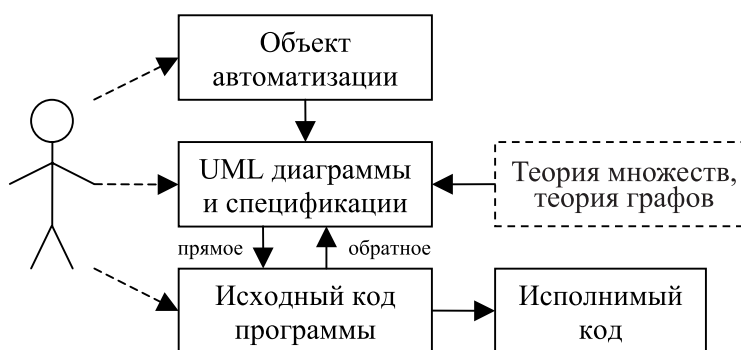


Рис. 2. Технология программирования с использованием UML

которого позволяет упростить операции преобразования UML диаграмм, созданных при помощи CASE-средств, в объекты в памяти ЭВМ.

Рисунок 2 также показывает, что на основе UML диаграмм можно генерировать исходный код (прямое преобразование) и наоборот исходный код может преобразовываться в диаграммы (обратное преобразование). В некоторых случаях прямое преобразование может осуществляться автоматически с помощью программ-конверторов (такая функция встроена также во многие CASE-средства, например Rational Rose). Обратное преобразование может выполнить только человек.

Язык UML предоставляет большое число типов диаграмм, последовательное создание которых позволяет получить полное представление обо всей проектируемой системе и об отдельных ее компонентах. В данной работе рассматриваются лишь два вида диаграмм:

- Use case diagram (диаграмма вариантов использования);
- Class diagram (диаграмма классов).

Диаграмма вариантов использования представляет концептуальную модель системы, которая является исходной схемой для построения всех остальных диаграмм. Она предназначена для определения требований к системе. Диаграмма классов является логической моделью, отражающей статические аспекты структурного построения системы. Диаграмма классов UML основана на широко распространенной модели «сущность-связь», введенной Ченом [4]. Данная нотация получила и другие варианты развития, например, CASE-метод Баркера [5], метод IDEF0 [6], который лежит в основе широко известного CASE-средства ERWin.

Таким образом, для описания функциональности разрабатываемой АСНИ целесообразно разработать диаграмму вариантов использования языка UML (рисунок 3).

Диаграмма описывает последовательность действий, которые может осуществлять система в ответ на внешние воздействия пользователя или измерительных устройств. Поскольку варианты использования отражают функциональность системы с точки зрения получения значимого результата для пользователя, то они позволяют более точно ранжировать функции, предоставляемые системой.

На диаграмме вариантов использования присутствуют два «актера» — внешних объекта, с которыми взаимодействует система. Во-первых, «пользователь» системы — человек, который использует систему для решения задачи расчета ЛГП. Во-вторых, «внешние устройства», которые могут передавать в систему необходимые данные на этапе формирования задания к системе.

Из рисунка 3 видно, что общую задачу расчета ЛГП можно представить совокупностью следующих вариантов:

- формирование задания к системе;
- расчет модели;
- обработка полученных результатов.

Пользователю также доступна функция работы со справочниками, которая не является обязательной, а расширяет возможности инструментальной системы.

В свою очередь задача формирования задания к системе включает в себя обязательные подзадачи определения параметров подшипника и ротора. В случае проведения серии вычислительных экспериментов задаются соответствующие условия (вариант «Провести серию экспериментов»). Также функционирование инструментальной системы предусматривает функцию взаимодей-

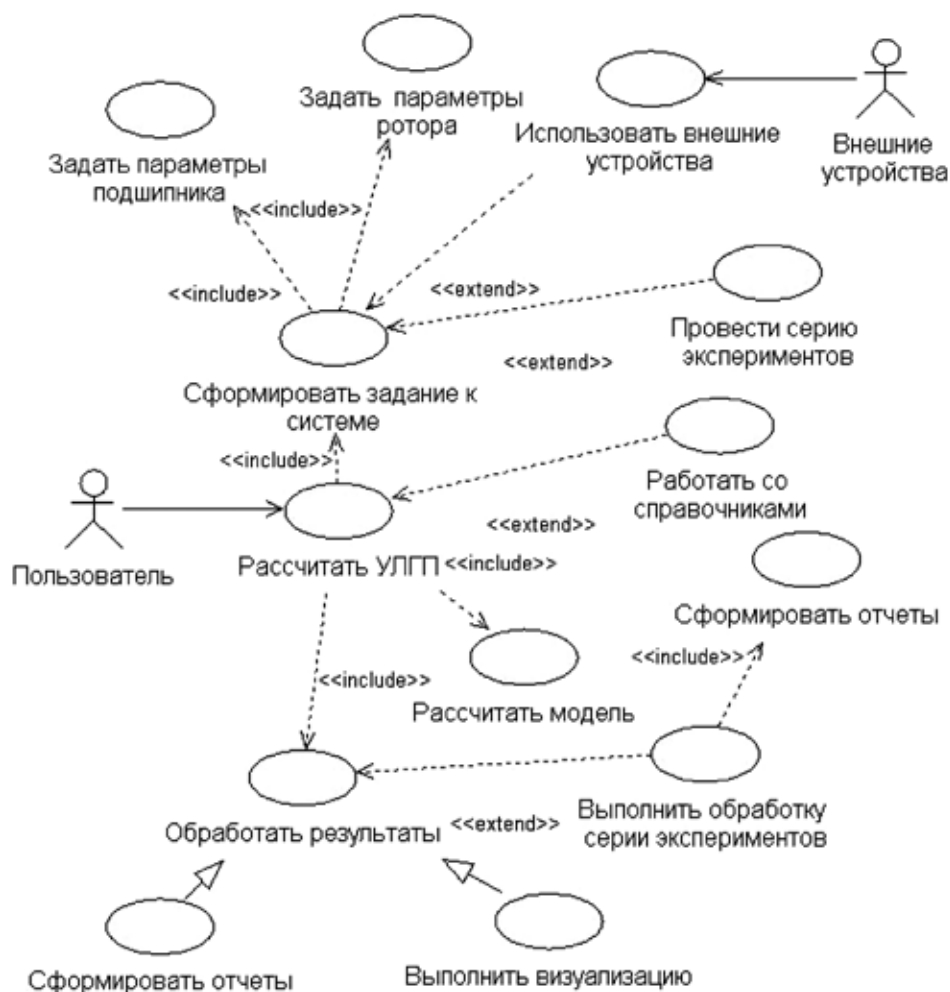


Рис. 3. Диаграмма вариантов использования

твия с внешними устройствами, для получения исходных параметров моделирования.

На этапе обработки полученных результатов пользователь может выбрать способ отображения результатов:

- сформировать отчеты;
- выполнить визуализацию.

В случае проведения серии экспериментов система предоставляет в распоряжение пользователя средства для вторичной обработки полученных данных (вариант «Выполнить обработку серии экспериментов»), которые включает в себя оценку полученных результатов путем использования методов математической статистики. По итогам анализа серии экспериментов также возможно сформировать отчет.

Чтобы определить статическую структуру системы, необходимо разработать диаграмму классов, которая является ключевой при реализации объектно-ориентированного подхода. Сокращенное представление диаграммы классов (без детализации атрибутов и методов классов) представлено на рисунке 4.

Основным классом, который служит для управления работой всей системы, является класс *MainForm*. Параметры и результаты расчета содержатся в классе

*Calculate*, который агрегирует в себе классы *FTBearing* (подшипник), *Rotor* (ротор) и *Lubricant* (смазочный материал). В свою очередь класс *Calculate* входит в состав класса многопараметрического расчета *Calculates*, который представляет собой реализацию последовательных вычислений для одного или нескольких простых расчетов.

Непосредственно алгоритм моделирования [7,8] реализуется с помощью нескольких классов под управлением класса *MainFuncs*. Уравнение Рейнольдса решается методами класса *ReynoldsEquation*, уравнение баланса энергии — класса *EnergyEquation*, уравнения теории упругости — класса *Deformation*. В классе *MathFuncs* содержатся некоторые вспомогательные функции для реализации математических алгоритмов. Определение теплофизических свойств смазочного материала путем аппроксимации экспериментальных данных реализуется в классе *LubricantFuncs*, который использует класс *StringExpression* для вычисления строковых арифметических выражений.

Графическую визуализацию исходных параметров расчета и его результатов выполняет классы *ImageManager* (трехмерное изображение подшипника) и *LubricantGraph* (график свойств смазочного материала). Класс *ImageManager* в свою очередь использует классы *Bearing*,

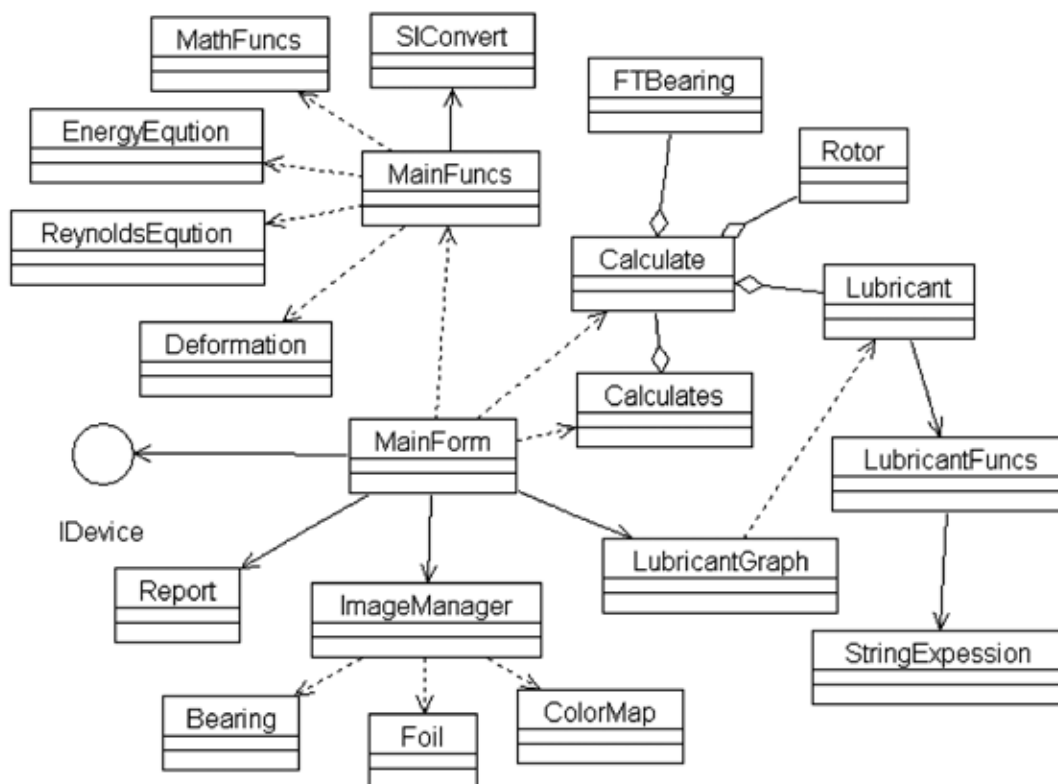


Рис. 4. Диаграмма классов

Foil и ColorMap для отображения корпуса подшипника, лепестка и карты распределения давлений и деформаций соответственно.

Для формирования отчетов различных форматов используется класс Report. Для подключения внешних устройств разработан интерфейс IDevice.

На основе разработанных статических диаграмм необходимо создать динамические диаграммы и диаграмму компонентов, которая показывает физическое представление разрабатываемой системы. Далее можно начинать непосредственно реализовать программный код системы.

#### Литература:

1. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем научных исследований и комплексных испытаний образцов новой техники // Гос. ком. СССР по науке и технике. Москва, 1986.
2. Романовский К.Ю., Кузнецов С.В., Кознов Д.В. Объектно-ориентированный подход и диаграммы классов в UML. — ЗАО «Ланит-Терком». — 1999.
3. Л.В. Шуткин «Технологии разработки программных обеспечений компьютерных информационных систем» <http://http://www.pvti.ru/stat/webkurs/index.html>.
4. Yourdon E. Modern Structured Analysis. — Prentice-Hall, 1989.
5. Barker R. CASE Method. Entity-Relationship Modeling. Copyright Oracle Corporation UK Limited, Addison-Wesley Publishing Co., 1990
6. Горин С.В., Тандоев А.Ю. Применение CASE-средства ERWin 2.0 для информационного моделирования в системах обработки данных // СУБД. — 1995. — №3.
7. Корчак, А.В. Инструментальные средства исследований упорных лепестковых газодинамических подшипников // Системы управления и информационные технологии, 1 (43), 2011. — с. 81–85.
8. Корчак А.В. Моделирование и программа расчета упорных лепестковых газодинамических подшипников // Вестник Воронежского государственного технического университета. Том 7. №4. Воронеж: ВГТУ, 2011. — с. 138–142.



## Модель и численный алгоритм для исследования процесса распространения вредных веществ в атмосфере

Равшанов Н., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник;  
Шарипов Д.К., младший научный сотрудник; Хамдамова Р., стажер-исследователь  
Институт Математики и информационных технологий АН РУз (г. Ташкент)

Современные темпы развития экономики региона требуют строительства все более мощных индустриальных и промышленных объектов (заводов, фабрик, транспортных средств, добычи переработки энергоносителей и т.д.), в результате чего накапливаются и рассредоточиваются трудовые ресурсы вблизи этих объектов.

Эти факторы прямым образом воздействуют на экологическое состояние территорий, где расположены социальные густонаселенные районы, зоны отдыха и экологически значимые пункты. В результате увеличения промышленных объектов в вышеуказанных зонах увеличивается выброс в атмосферу вредных веществ и аэрозоли примесей в окружающей среде, что прямым образом воздействует на экологическое состояние этих территорий.

Надо отметить, что строительство и запуск промышленных объектов без учета санитарной нормы атмосферного бассейна также нарушает дисбаланс региона и прилегающих территорий.

Задача об оценке загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности пассивными и активными аэрозольными выбросами и примесями, размещения промышленных предприятий с соблюдением санитарных норм, определения количества взвешенных частиц над регионом, выпавших частиц на подстилающую поверхность и прогнозирования распространения их в окружающую среду и приземном слое атмосфере являются актуальными в проблеме охраны окружающей среды.

Практика показала, что при анализе функционирования и прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере необходимо: во-первых, учитывать изменение скоростей перемещения аэрозольных выбросов в атмосфере по трем направлениям, то есть по вертикали, по направлению скорости потока и отклоняющихся от них во времени; во-вторых, изменение коэффициента диффузии и коэффициента турбулентного перемешивания по вертикали при устойчивой и неустойчивой стратификации; в-третьих, изменение розы ветров со временем, в зависимости от топографии местности; в-четвертых, учет фазового перехода субстанции за счет изменения температурного режима в слоях атмосферы и местонахождение аэрозольных источников.

С целью учета указанных выше факторов для прогнозирования и предотвращения от нежелательных экологических последствий рассматриваемого региона, необходимо создать эффективный инструмент — математическую модель (ММ) и численный алгоритм, реализуемый в виде программно-инструментального комплекса для проведения вычислительного эксперимента.

Для исследования и прогнозирования процесса распространения аэрозольных выбросов в атмосферу с учетом указанных выше факторов разработана ММ и численный алгоритм распространения вредных веществ в атмосфере описываются уравнением переноса и диффузии, основанном на законе сохранения массы и количества движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \\ = \mu \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + Q(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными и краевыми условиями:

$$\varphi(x, y, z, 0) = \varphi_0(x, y, z), \quad (2)$$

$$\varphi|_{x=0, x=a} = \varphi|_{y=0, y=b} = 0, \quad (3)$$

$$k_z \frac{\partial \varphi}{\partial n} = -\varpi_g \sin \alpha \varphi + \beta \varphi - f_0; \quad \text{на } G_{pz}, \quad (4)$$

$$k_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad \text{на } G_H \quad (5)$$

которая решается в области  $D = (0 < x < a, 0 < y < b, 0 < z < H, t > 0)$ .



Здесь  $\varphi$  — количество распространяющегося вещества,  $t$  — время,  $x, y, z$  — координаты,  $u, v, w$  — составляющие скорости ветра по направлениям  $x, y, z$  соответственно,  $w_g$  — скорость осаждения частиц,  $k$  — коэффициент турбулентного перемешивания,  $\mu$  — коэффициент диффузии,  $\sigma$  — коэффициент поглощения,  $\alpha$  — угол наклона поверхности,  $\beta$  — коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью,  $Q(x, y, z, t)$  — мощность источников,  $f_0(x, y, z)$  — количество аэрозольных частиц, отрывающихся от шероховатости земной поверхности.

Обмен концентраций аэрозолей между приземным слоем и атмосферой реализуется условием (4), где учитывается угол наклона поверхности и количества частиц, вновь попадающих в атмосферу в зависимости от скорости вертикального потока воздушной массы. Источник аэрозольных выбросов зависит от времени и пространственных координат.

Для интегрирования поставленной задачи основные параметры математической модели процесса  $u, v, w, k, \mu$  будем определять в виде степенных функций [1]

$$u(x, t) = |v_1| \left( \frac{z}{z_1} \right)^n \cos \beta, \quad v(z, t) = |v_1| \left( \frac{z}{z_1} \right)^n, \quad w(z, t) = |v_1| \left( \frac{z}{z_1} \right)^n \sin \beta,$$

$$k(z, t) = k_0(z, t) + \bar{k}(z, t), \quad \mu(z, t) = \bar{\mu}|v(z, t)|$$

где  $|v_1|$  — модуль скорости ветра при  $z=1$  м.

В таком случае составляющие скорости ветра близки к логарифмическому закону, а профиль коэффициента турбулентности в пограничном слое изменяется в соответствии с температурной стратификацией, при этом коэффициент диффузии растет с увеличением скорости ветра.

Для учета скорости направления ветра в разработанной математической модели процесса введем вспомогательные функции  $V_n = v(z_2)/v(z)$ ,  $v(z) = \sqrt{u(z)^2 + v(z)^2}$  и умножая обе части уравнений (1) на  $v(z_2)/v(z)$ , получим

$$\begin{aligned} & \frac{v(z_2)}{v(z)} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{v(z_2)}{v(z)} u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{v(z_2)}{v(z)} v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{v(z_2)}{v(z)} (w - w_g) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{v(z_2)}{v(z)} \sigma \varphi = \\ & = \frac{v(z_2)}{v(z)} \mu \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) + \frac{v(z_2)}{v(z)} \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z}) + \frac{v(z_2)}{v(z)} Q(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (6)$$

или

$$\begin{aligned} & V_n \frac{\partial \varphi}{\partial t} + v(z_2) \cos \alpha(z) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v(z_2) \sin \alpha(z) \frac{\partial \varphi}{\partial y} + V_n (w - w_g) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \\ & + V_n \sigma \varphi = V(z_2) \mu \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) + V_n \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z}) + V_n Q(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь

$$\begin{aligned} u(z) &= v(z) \cos \alpha(z), & v(z) &= v(z) \sin \alpha(z); \\ u(z) \frac{v(z_2)}{v(z)} &= v(z) \cos \alpha(z) \frac{v(z_2)}{v(z)} = v(z_2) \cos \alpha(z); \\ v(z) \frac{v(z_2)}{v(z)} &= v(z_2) \sin \alpha(z). \end{aligned}$$

Для решения поставленной задачи (1)–(5) воспользуемся монотонной полунейвной схемой, то есть в уравнении (1) члены,  $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial \varphi}{\partial y}$  берутся из предыдущего момента времени  $t=t_n$ , остальные члены в момент времени  $t=t_{n+1}$  получим:

$$\begin{aligned} & V_n \frac{\varphi^{n+1} - \varphi^n}{\Delta t} + V_n (w - w_g) \frac{\partial \varphi^{n+1}}{\partial z} + V_n \sigma \varphi^{n+1} = \\ & V(z_2) \mu \left( \frac{\partial^2 \varphi^{n+1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi^{n+1}}{\partial y^2} \right) + V_n \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi^{n+1}}{\partial z}) + V_n Q(x, y, z, t)^{n+1} + F^n. \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$F^n = v(z_2) \cos \alpha(z) \frac{\partial \varphi^n}{\partial x} + v(z_2) \sin \alpha(z) \frac{\partial \varphi^n}{\partial y}.$$

Из (8) видно, что все коэффициенты уравнения не зависят от  $x$ ,  $y$  и следовательно для решения его можно применить метод прямых [1].

В дальнейшем, опуская верхний индекс  $(n+1)$  и введя сетку по  $x$  и  $y$ , записав уравнение при  $x=x_k$ , получим разностную систему линейных алгебраических уравнений  $N_I$ -20 порядка.

$$\begin{aligned} \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i + V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + V_n(z) G \varphi_i = V(z_2) \mu \frac{\varphi_{i-1} - 2\varphi_i + \varphi_{i+1}}{h_x^2} + V_n(z) \mu \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial y^2} + \\ + V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_i}{\partial z}) + V_n(z) f(x_i, y, t) - (F_i + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i) \end{aligned} \quad (9)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i + V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + V_n(z) G \varphi_i = V(z_2) \mu \frac{M_1}{h_x^2} \varphi_i + V_n(z) \mu \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial y^2} + \\ + V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_i}{\partial z}) + V_n(z) f(x_i, y, t) - (F_i + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь матрица  $M_1$  простая с диагональным преобладанием. Из свойства матрицы  $M_1$  известно, что она является матрицей простой структуры и ее можно представить в виде  $M_1 = B_1 \lambda_1 B_1^*$ ,  $\lambda_1 = B_1^* M_1 B_1$ ;  $B_1^{-1} = B_1^*$ ,  $\lambda_1$  - диагональная матрица, элементы которой являются собственными значениями матрицы  $M_1$ ,  $\lambda_{1,i}$  и элементы матрицы  $B_1$  вычисляются формулами

$$\lambda_{1,i} = -2 \left( 1 - \cos \frac{i\pi}{N_1 + 1} \right); b_{1,i,j} = (-1)^{i+j} \sqrt{\frac{2}{N_1 + 1}} \sin \frac{ij\pi}{N_1 + 1} \quad (i, j = \overline{1, N_1}).$$

После несложных преобразований вместе с уравнением (10) получим

$$\begin{aligned} \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i^{(1)} + V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_i^{(1)}}{\partial z} + V_n(z) G \varphi_i^{(1)} = \alpha_i^2 \varphi_i^{(1)} + V(z_2) \mu \frac{\partial^2 \varphi_i^{(1)}}{\partial y^2} + \\ + V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_i^{(1)}}{\partial z}) + V_n(z) f(x_i, y, t) - (F_i + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_i^{(1)}); \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\alpha_i^2 = -\frac{\lambda_{1,i} V(z_2) \mu}{h_x^2}.$$

В уравнении (11) дифференциальные операторы по  $y$  также заменяем на конечно-разностную величину и получаем:

$$\begin{aligned} \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(1)} + V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(1)}}{\partial z} + V_n(z) G \varphi_{i,k}^{(1)} = \alpha_i^2 \varphi_{i,k}^{(1)} + V(z_2) \mu \frac{M_2}{h_y^2} + \\ + V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(1)}}{\partial z}) + V_n(z) f^{(1)}(x_i, y, t) - (F_i^{(1)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(1)}); \end{aligned} \quad (12)$$

где  $M_2$  - трехдиагональная матрица с диагональным преобладанием, которую можно представить в виде  $M_2 = B_2 \lambda_2 B_2^*$ ;  $B_2^{-1} = B_2^*$  [2].

Умножая уравнение (12) слева на матрицу  $B_2^*$  и обозначая,  $B_2^* \varphi_{i,k}^{(1)} = \varphi_{i,k}^{(2)}$ ; получим:

$$\begin{aligned} \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(2)} + V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} + V_n(z) G \varphi_{i,k}^{(2)} = (\alpha_i^2 \varphi_{i,k}^{(2)} + \beta_k^2 \varphi_{i,k}^{(2)}) + \\ + V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}) + V_n(z) f^{(2)}(x_i, y_k, t) - (F_{i,k}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(2)}); \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\beta_k^2 = \frac{\lambda_{2,k} V(z_2) \mu}{h_y^2}; \quad \lambda_{2,k} = -2 \left( 1 - \cos \frac{k\pi}{N_2 + 1} \right); \quad b_{2,i,k} = (-1)^{i+k} \sqrt{\frac{2}{N_2 + 1}} \sin \frac{ik\pi}{N_2 + 1} (i, k = \overline{1, N_2}).$$

После некоторого преобразования и с учетом краевых условий получим:

$$V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} \left( k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} \right) + V_n(z) (w - w_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} + (V_n(z) G + V_n(z) \frac{1}{\Delta t}) \varphi_{i,k}^{(1)} = (\alpha_i^2 + \beta_k^2) \varphi_{i,k}^{(2)} + \\ + V_n(z) f^{(2)}(x_i, y, t) - \left( F_{i,k}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(2)} \right); \quad (14)$$

$$k \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} + \omega_g \varphi_{i,k}^{(2)} = \beta_k^2 \varphi_{i,k}^{(2)} - F_{i,k}^{(2)}. \quad (15)$$

Здесь  $F_{i,k}^{(2)}$  вычисляется с помощью формулой

$$F_{i,k}^{(2)} = V(z_2) \cos \alpha(z) \begin{cases} \frac{\varphi_{i-1,k}^{(2)} - \varphi_{i,k}^{(2)}}{h_x}, \cos \alpha(z) \geq 0 \\ \frac{\varphi_{i+1,k}^{(2)} - \varphi_{i,k}^{(2)}}{h_x}, \cos \alpha(z) < 0 \end{cases} + V(z_2) \sin \alpha(z) \begin{cases} \frac{\varphi_{i,k-1}^{(2)} - \varphi_{i,k}^{(2)}}{h_y}, \sin \alpha(z) \geq 0 \\ \frac{\varphi_{i,k+1}^{(2)} - \varphi_{i,k}^{(2)}}{h_y}, \sin \alpha(z) < 0 \end{cases}.$$

Итак, получено обыкновенное дифференциальное уравнение с соответствующими краевыми условиями, описывающее процесс распространения аэрозольных частиц по вертикальному направлению относительно переменной  $z$ .

Для решения полученной задачи введем сетку по  $z$   $w_z = (z_j = z_{j-1} + h_z, ) (j = 2, 3, 4, \dots, h_z = h_{z_1}, h_{z_2}, \dots)$ , заменив дифференциальный оператор разностным

$$\left( \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} \right)_j = \begin{cases} \frac{\varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - \varphi_{i,k,j}^{(2)}}{h_{z,j}}, w - w_g \geq 0 \\ \frac{\varphi_{i,k,j}^{(2)} - \varphi_{i,k,j+1}^{(2)}}{h_{z,j+1}}, w - w_g < 0 \end{cases},$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} \right) = \frac{k(z_{j-0,5})}{\frac{h_{z,j+1} + h_{z,j}}{2} h_{z,j}} \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - \left( \frac{k(z_{j-0,5})}{h_{z,j}} + \frac{k(z_{j+0,5})}{h_{z,j+1}} \right) \frac{\varphi_{i,k,j}^{(2)}}{2} + \\ + \frac{k(z_{j+0,5}) \varphi_{i,k,j+1}^{(2)}}{\frac{h_{z,j} + h_{z,j+1}}{2} h_{z,j+1}}$$

получим:

$$\bar{a}_j \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - \bar{b}_j \varphi_{i,k,j}^{(2)} + \bar{c}_j \varphi_{i,k,j+1}^{(2)} + \begin{cases} \frac{d_1}{h_{z,j}} \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - d_1 \varphi_{i,k,j}^{(2)} \\ \frac{d_2}{h_{z,j}} \varphi_{i,k,j+1}^{(2)} - d_2 \varphi_{i,k,j}^{(2)} \end{cases} \begin{cases} (w - w_g) \geq 0 \\ (w - w_g) < 0 \end{cases} + \\ + \left( \frac{V_n(z_j)}{\Delta t} + V_n(z_j) G - V_n(z_j) \mu \alpha_i^2 - V_n(z_j) \mu \beta_k^2 \right) \varphi_{i,k,j}^{(2)} = \\ = V_n(z_j) f^{(2)}(x_i, y_k, z_j, t_n) - \left( F_{i,k,j}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \right) \varphi_{i,k,j}^{(2)};$$

или

$$\begin{aligned}
& (\bar{d}_1 + \bar{a}_j) \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - (\bar{d}_1 + \bar{b}_j + \bar{e}_j) \varphi_{i,k,j}^{(2)} + \bar{c}_j \varphi_{i,k,j}^{(2)} = V_n(z_j) f(x_i, y_k, z_j, t_n) - \\
& - \left( F_{i,k,j}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \right) \varphi_{i,k,j}^{(2)} \quad \text{при} \quad (w - w_g) \geq 0 \\
& \bar{a}_j \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - (\bar{d}_2 + \bar{b}_j + \bar{e}_j) \varphi_{i,k,j}^{(2)} + (\bar{d}_2 + \bar{c}_j) \varphi_{i,k,j}^{(2)} = \\
& = V_n(z_j) f^{(2)}(x_i, y_k, z_j, t_n) - \left( F_{i,k,j}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \right) \varphi_{i,k,j}^{(2)} \quad \text{при} \quad (w - w_g) < 0
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
\bar{a}_j &= \frac{2k(z_{j+0,5})}{h_{z,j}(h_{z,j+1} + h_{z,j})}; \quad \bar{b}_j = 2 \left( \frac{k(z_{j-0,5})}{h_{z,j}} + \frac{k(z_{j+0,5})}{h_{z,j+1}} \right) (h_{z,j} + h_{z,j+1}); \\
\bar{c}_j &= \frac{2k(z_{j+0,5})}{(h_{z,j} + h_{z,j+1})h_{z,j+1}}; \quad \bar{e}_j = \left( \frac{V_n(z)}{\Delta t} + V_n(z)G - V_n(z)\mu\alpha_i^2 - V_n(z)\mu\beta_k^2 \right).
\end{aligned}$$

Векторная форма поставленной задачи имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
& A_j \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} - B_j \varphi_{i,k,j}^{(2)} + C_j \varphi_{i,k,j+1}^{(2)} = \Phi_j; \\
& \bar{A}_j = \bar{a}_j; \quad \bar{B}_j = (\bar{b}_j + \bar{d}_2 - \bar{e}_j); \quad \bar{C}_j = (\bar{d}_2 + \bar{c}_j); \quad \text{при} \quad (w - w_g) < 0; \\
& \bar{A}_j = (\bar{d}_1 + \bar{a}_j); \quad \bar{B}_j = (\bar{b}_j + \bar{d}_1); \quad \bar{C}_j = \bar{c}_j; \quad \text{при} \quad (w - w_g) \geq 0; \\
& \Phi_j = V_n(z_j) f^{(2)}(x_i, y_k, z_j, t_n) - \left( F_{i,k,j}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \right).
\end{aligned}$$

Для аппроксимации краевых условий при  $j=0$  на подстилающей поверхности земли интегрируем уравнение (15) от нуля до  $h_{z,1/2}$

$$\begin{aligned}
& \int_0^{h_{z,1/2}} \left[ V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}) - V_n(z)(w - w_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} - (V_n(z) \frac{1}{\Delta t} + V_n(z)G) \varphi_{i,k}^{(2)} - \right. \\
& \left. - (\alpha_i^2 \varphi_{i,k}^{(2)} + \beta_k^2 \varphi_{i,k}^{(2)}) \right] dz = \int_0^{h_{z,1/2}} \bar{F}_{i,k}^{(2)} dz;
\end{aligned} \quad (16)$$

где

$$\bar{F}_{i,k}^{(2)} = V_n(z) f_{0,k}^{(2)}(x_i, y_k, t) - (F_{i,k}^{(2)} + \frac{V_n(z)}{\Delta t} \varphi_{i,k}^{(2)}).$$

С учетом краевых условий уравнение (15) можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
& \int_0^{h_{z,1/2}} \left[ V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}) dz = (V_n(z_{1/2}) [k(z_{1/2}) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}]_{1/2} - k(z_{1/2}) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}]_0 = \right. \\
& \left. = (V_n(z) [k(z_{1/2}) \frac{\varphi_{2,k}^{(2)} - \varphi_{1,k}^{(2)}}{\Delta z_1} - (\beta_k - \omega_g) \varphi_{1,k}^{(2)} + V_n(z_{1/2}) f_{0,k}^{(2)}] \right]; \\
& \int_0^{h_{z,1/2}} V_n(z)(\omega - \omega_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} dz = (V_n(z_{1/4})(\omega - \omega_g)_{1/4} (\varphi_{i,k,1/2}^{(2)} - \varphi_{i,k,0}^{(2)}) = \\
& = V_n(z)(\omega - \omega_g)_{1/4} \left( \frac{\varphi_{i,k,1}^{(2)} - \varphi_{i,k,0}^{(2)}}{2} - \varphi_{i,k,0}^{(2)} \right) = V_n(z)(\omega - \omega_g)_{1/4} \frac{1}{2} (\varphi_{i,k,0}^{(2)} - \varphi_{i,k,1}^{(2)}); \\
& \int_0^{h_{z,1/2}} V_n(z)(\omega - \omega_g) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z} dz = (V_n(z_{1/4})(\omega - \omega_g)_{1/4} (\varphi_{i,k,1/2}^{(2)} - \varphi_{i,k,0}^{(2)}) = \\
& = V_n(z)(\omega - \omega_g)_{1/4} \left( \frac{\varphi_{i,k,1}^{(2)} - \varphi_{i,k,0}^{(2)}}{2} - \varphi_{i,k,0}^{(2)} \right) = V_n(z)(\omega - \omega_g)_{1/4} \frac{1}{2} (\varphi_{i,k,0}^{(2)} - \varphi_{i,k,1}^{(2)});
\end{aligned}$$

$$\int_0^{h/2} \overline{F}_{i,k}^{(2)} dz = \overline{F}_0^{(2)} \frac{\Delta z_1}{2}.$$

Итак, при  $i=0$  имеем разностное уравнение вида:

$$\begin{aligned} & -[V_n(z_{1/4})(\omega - \omega_g) / \Delta z_1 + \frac{2}{\Delta z_1^2} k(z_{1/2}) V_n(z_{1/4}) + \frac{2(\beta - \omega_g)}{\Delta z_1} + V_n(z_{1/4}) \frac{1}{\Delta t}] \varphi_{i,k,0}^{(2)} - \\ & -(\alpha_i^2 \varphi_{i,k}^{(2)} + \beta_k^2 \varphi_{i,k}^{(2)}) + [-(V_n(z_{1/4})(\omega - \omega_g)_{1/4} / \Delta z_1 + \frac{2}{\Delta z_1^2} k(z_{1/2}) V_n(z_{1/4}))] \varphi_{i,k,2}^{(2)} = \\ & = -(V_n(z_{1/4}) f_{i,k,0}^{(2)} - \overline{F}_{i,k,0}^{(2)}), \\ & \overline{F}_{i,k,0}^{(2)} = V_n(z_{1/4}) \frac{1}{\Delta t} \varphi_{i,k,0}^{(2)} - \overline{F}_{i,k,1/4}^{(2)}, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} & -[\frac{2}{\Delta z_1^2} k(z_{1/2}) V_n(z_{1/4}) - (\omega - \omega_g)_{1/4} / \Delta z_1 + V_n(z_{1/4}) + \frac{2}{\Delta z_1^2} (\beta - \omega_g) + \frac{1}{\Delta t} V_n(z_{1/4}) + V_n(z_{1/4})] G + \\ & -(\alpha_i^2 + \beta_k^2) \varphi_{i,k,0}^{(2)} + [(V_n(z_{1/4}) \frac{2}{\Delta z_1^2} - (\omega - \omega_g)_{1/4} / \Delta z_1 V_n(z_{1/4}))] \varphi_{i,k,2}^{(2)} = \\ & = -(V_n(z_{1/4}) f_{i,k,0}^{(2)} - \overline{F}_{i,k,0}^{(2)}). \end{aligned}$$

Также интегрируя уравнение (15) от  $(N+1/2) \Delta z_N$  до  $(N+1) \Delta z_N$  получим

$$\begin{aligned} & \int_{H-1/2\Delta z_N}^N V_n(z) \frac{\partial}{\partial z} (k(z) \frac{\partial \varphi_{i,k}^{(2)}}{\partial z}) dz = (V_n(z_{H-1/4\Delta z_N}) [k(z_H) \frac{\partial \varphi_{i,k,N}^{(2)}}{\partial z} - k(z_{H-1/4\Delta z_N}) \frac{\partial \varphi_{i,k,H-1/2\Delta z_N}^{(2)}}{\partial z}] = \\ & = [k(z_{1/2}) \frac{\varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N}^{(2)}}{\Delta z_N}] V_n(z_{H-1/4\Delta z_N}) = \\ & = (V_n(z_{H-1/4\Delta z_N}) \frac{k(z_{H-1/2\Delta z_N})}{\Delta z_N} \varphi_{i,k,N}^{(2)} + V_n(z_{H-1/2\Delta z_N}) \frac{k(z_{H-1/4\Delta z_N})}{\Delta z_N} \varphi_{i,k,N+1}^{(2)}), \\ & \int_{z_{H-1/2\Delta z_N}}^H z A(\omega - \omega_g) \frac{\partial \varphi}{\partial z} dz = (z A(\omega - \omega_g))_{z_{H-1/4\Delta z_N}} * (\varphi_{i,k,N-1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N+1/2}^{(2)}) = \\ & = \varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N+1/2}^{(2)} = \varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \frac{\varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N}^{(2)}}{2} = \frac{\varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N}^{(2)}}{2} = \\ & = \frac{\varphi_{i,k,N+1}^{(2)} - \varphi_{i,k,N}^{(2)}}{\Delta z_N} \cdot \frac{\Delta z_N}{2} \approx (\frac{\partial \varphi_{j,k}}{\partial z}) \cdot \frac{\Delta z_N}{2} \end{aligned}$$

Итак, при  $z = H$  имеем

$$\begin{aligned} & -[\frac{2}{h^2} z A(z_{H-1/2\Delta z_N}) k(z_{H-1/2\Delta z_N}) + (\frac{1}{\Delta t} + \sigma) t A(z_{H-1/2\Delta z_N})] * \\ & * \varphi_{i,k,H+1}^{(2)} - (\rho_k^2 + \gamma_j^2) \varphi_{i,k,H+1}^{(2)} + \frac{2}{h^2} z A(z_{H-1/2\Delta z_N}) k(z_{H-1/2\Delta z_N}) \varphi_{i,k,H+1}^{(2)} = -\overline{F}_{i,k,N+1}^{(2)} \end{aligned}$$

Для  $z = z_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$  имеем

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{k(z_j - 1/2)}{\frac{\Delta z_{j-1} + \Delta z_j}{2} \cdot \Delta z_{j-1}} + \frac{a + |a|}{2\Delta z_{j-1}} \right] \cdot zA(z_j) \cdot \varphi_{i,k,j}^{(2)} - \\ & - \left[ \frac{k(\Delta z_{j-1/2})}{\frac{\Delta z_{j-1} + \Delta z_j}{2} \cdot \Delta z_{j-1}} + \frac{k(\Delta z_{j+1/2})}{\frac{\Delta z_{j-1} + \Delta z_{j+1}}{2} \cdot \Delta z_j} + \frac{|a|}{\Delta z_j} + \frac{1}{\Delta t} + \sigma \right] zA(z_j) \cdot \varphi_{i,k,j-1}^{(2)} + \\ & + \left[ \frac{k(z_i - 1/2)}{\frac{\Delta z_{j-1} + \Delta z_j}{2} \cdot \Delta z_1} + \frac{|a| - a}{2\Delta z_i} \right] zA(z_j) \cdot \varphi_{i,k,j+1}^{(2)} - (\alpha_i^2 + \beta_k^2) \varphi_{i,k,j}^{(2)} = -\bar{F}_{i,k,j}^{(2)}, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $a = \omega - \omega_g$ .

Для определения  $\varphi_{i,k,j}^{(2)}$  получим систему

$$\begin{aligned} & -B_{i,k,1} \varphi_{i,k,1}^{(2)} + C_1 \varphi_{i,k,2}^{(2)} = -\bar{F}_{i,k,1}^{(2)}, \\ & A_2 \varphi_{i,k,1}^{(2)} + B_{i,k,2} \varphi_{i,k,2}^{(2)} + C_2 \varphi_{i,k,3}^{(2)} = -\bar{F}_{i,k,2}^{(2)}, \\ & \dots \dots \dots \\ & A_{N_1} \varphi_{i,k,N_1-1}^{(2)} - B_{i,k,N_1} \varphi_{i,k,N_1-1}^{(2)} + C_{N_1} \varphi_{Ni,k,N_1+1}^{(2)} = -\bar{F}_{i,k,N_1}^{(2)}, \\ & A_{N_1+1} \varphi_{i,k,N_1}^{(2)} - B_{i,k,N_1+1} \varphi_{i,k,N_1+1}^{(2)} = -\bar{F}_{i,k,N_1+1}^{(2)}. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{2k(z_{1/2})}{\Delta z_1^2} zA(z_{1/4}) - \frac{\omega - \omega_g}{\Delta z_1} zA(z_{1/4}), \\ B_{i,k,1} &= C_1 + \frac{2(\beta - \omega_g)}{\Delta z_1} V_n(z_{1/4}) + (\sigma + \frac{1}{B\Delta t}) V_n(z_{1/4}) + \alpha_i^2 + \beta_k^2, \\ \bar{F}_{1,j,k}^{(2)} &= -(\bar{f}_{i,k,0}^{(2)} + \bar{F}_{i,k,0}^{(2)}) V_n(z_{1/4}), \quad A_i = \left( \frac{k(z_{i-1/2})}{\frac{\Delta z_{i-1} + \Delta z_i}{2} \Delta z_{i-1}} + \frac{|a| + a}{2 \cdot \Delta z_{i-1}} \right) \cdot V_n(z_i), \\ C_i &= \left( \frac{k(z_{i+1/2})}{\frac{\Delta z_{i-1} + \Delta z_i}{2} \Delta z_{i-1}} + \frac{|a| - a}{2 \cdot \Delta z_i} \right) \cdot V_n(z_i), \quad B_{i,k,j} = A_i + C_i + \left( \frac{1}{\Delta t} + \sigma \right) V_n(z_i) + \alpha_i^2 + \beta_k^2, \\ A_{N+1} &= \frac{2k(z_{N_1+1/2})}{\Delta z_{N_1}^2} V_n(z_{N_1+1/2}), \quad B_{N_1+1,j,k} = A_{N_1+1} + \left( \frac{1}{\Delta t} + \sigma \right) V_n(z_{N_1+1/2}) + \alpha_i^2 + \beta_k^2, \quad i = 1, 2, \dots, N_1, \end{aligned}$$

Решая систему (18), находим  $\varphi_{i,k,j}^{(2)}$  при  $i = 0, 1, 2, \dots, N_1 + 1$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, N_2$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_3$  с помощью (13), (11) от функции  $\varphi_{i,j,k}^{(2)}$  переходим к функции  $\varphi_{i,j,k}^{(1)}$  с помощью (11) от функцию  $\varphi_{i,j,k}^{(1)}$  переходим к численному решению задачи (8) в области в момент времени  $t = t_{n+1}$ .

Таким образом, разработан эффективный инструмент — математическая модель и численный алгоритм для проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ с целью анализа исследования и прогнозирования распространения вредных веществ в атмосфере.

#### Литература:

1. Каримбердиева С. Численные решения дифференциально-разностных уравнений в параллелепипеде, шаре и цилиндре, Т., «Фан», 1983, 112 с.
2. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры М., 1960.



## Информационная система для моделирования распространения загрязнения атмосферного воздуха с использованием ArcGIS

Смирнов Е.А., студент

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

### Введение

Состояние окружающей среды оказывает огромное влияние на жизнь всех живых существ на планете. Выбросы вредных веществ в атмосферу негативно сказываются на состоянии атмосферного воздуха, являющегося жизненно важным компонентом природы. Значительный вклад в этот процесс вносят предприятия промышленности. Для того чтобы ограничить их негативное воздействие на атмосферу, устанавливаются нормативы выбросов веществ и проводится государственный экологический мониторинг. Автоматические станции контроля загрязнения атмосферы регулярно измеряют концентрации различных веществ в воздухе. Степень загрязнения воздуха оценивается при сравнении этих концентраций с ПДК — предельно допустимой концентрацией. ПДК — это максимальная концентрация вредного вещества, которая за определенное время воздействия не влияет на здоровье человека.

### Математическое моделирование распространения загрязнения воздуха

Несмотря на то, что информация, получаемая автоматическими станциями, отражает реальное состояние атмосферного воздуха в местах измерения, она касается только последствий загрязнения, а его причины остаются неизвестными. К тому же, эта информация показывает уровень загрязнения только в отдельных точках и не может дать адекватной картины состояния воздуха на остальной территории. Для решения этих проблем проводят математическое моделирование распространения примесей в атмосферном воздухе, которое позволяет оценить степень загрязнения атмосферы в заданной точке местности, не проводя в ней натурных измерений. Кроме того, используя этот подход, можно прогнозировать изменение состояния атмосферного воздуха в длительной перспективе, моделировать различные гипотетические ситуации (такие, как строительство нового завода или даже города) и заранее планировать необходимые меры для предотвращения загрязнения воздуха. Моделирование требует комплексного учета многих факторов, таких как параметры источников выбросов и текущего метеорологического состояния атмосферы, условия рассеивания для данной местности, свойства моделируемых веществ.

Математические модели, описывающие движение потока выбросов под действием ветра (перенос) и турбулентного движения атмосферы (диффузия) называются мо-

делями атмосферного переноса-диффузии или моделями атмосферной дисперсии. Эти модели подразделяются на теоретические, эмпирические и полуматематические, а также на стационарные и нестационарные [1]. Наиболее распространены стационарные эмпирические модели, основанные на уравнении Гаусса:

$$\bar{X}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right],$$

где  $\bar{X}$  — средняя концентрация выброса в точке (x,y,z), Q — мощность точечного источника, U — скорость ветра, усредненная по слою перемешивания. Начало координат находится в источнике, ось x совпадает со средним направлением ветра, ось y расположена перпендикулярно направлению ветра по горизонтали, а ось z — по вертикали. Параметры  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  представляют собой стандартные отклонения распределений концентраций в точке x соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях, перпендикулярно направлению ветра. Система координат приведена на рис. 1.

В России для установления нормативов выбросов предприятий используется основанная на уравнении Гаусса модель расчета концентраций ОНД-86 [2]. Нормативы устанавливаются по результатам расчета максимальных разовых приземных концентраций вредных веществ (на двухметровой высоте над поверхностью земли) при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях и опасной скорости ветра. Кроме максимальных концентраций, необходимых для установления нормативов, также могут быть рассчитаны среднегодовые концентрации и концентрации для заданных метеоусловий. Для определения комплексного негативного воздействия на окружающую среду различных веществ экологами используется интегральный критерий — комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА). Он рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^L I_i$$

где  $I_i$  — индекс загрязнения атмосферы отдельной i-той примесью, L — количество примесей.  $I_i = (q_{\text{ср.г.}}/\text{ПДК}_{\text{ср.г.}})^{a_i}$ ;  $a_i$  — константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 соответственно для примесей 1–4 классов опасности и приводящая степень вредности i-вещества к степени вредности диоксида серы;  $\text{ПДК}_{\text{ср.г.}}$  — среднесуточная предельно допустимая концентрация i-той примеси;  $q_{\text{ср.г.}}$  — среднегодовая концентрация i-той примеси.

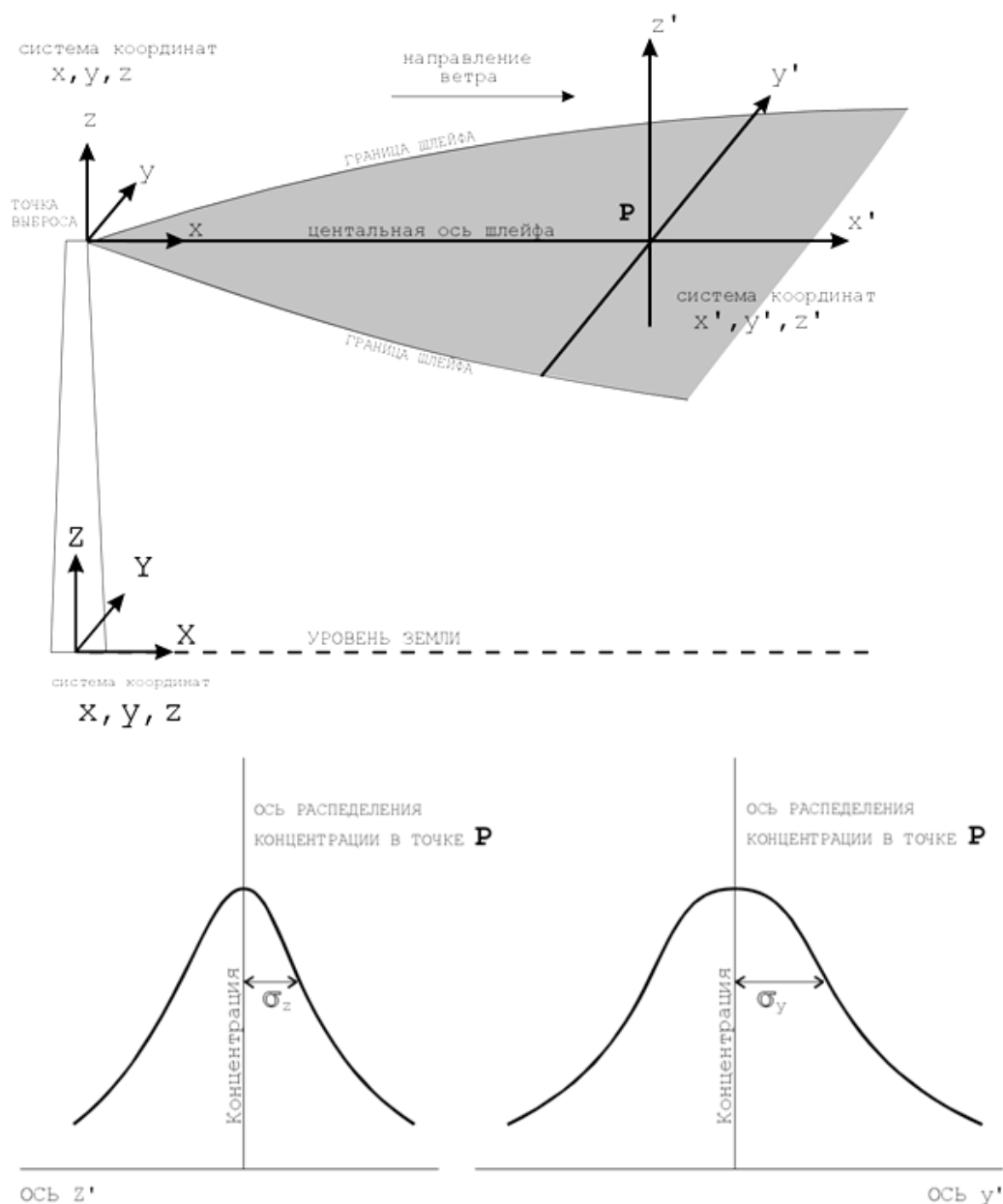


Рис. 1. Система координат в уравнении Гаусса

### Информационная система для моделирования распространения загрязнения

В настоящее время расчеты концентраций вредных веществ по моделям атмосферной дисперсии проводятся с помощью специализированных программных средств. Целью проведенной автором работы являлось создание такого средства — информационной системы, с помощью которой можно осуществлять моделирование распространения загрязнения воздуха по методике ОНД-86 и представлять полученные результаты в удобном для восприятия виде. Необходимо было реализовать в информационной системе возможность по имеющимся географическим и метеорологическим данным, а также данным об источниках выбросов рассчитывать поля максимальных разовых приземных концентраций вредных веществ, поля концентраций для заданных метеословий, направления и скорости ветра, а также поля КИЗА, и отображать резуль-

таты расчетов в виде экологических карт [3]. Значения концентраций должны рассчитываться в узлах прямоугольной сетки с указанным размером ячейки и отображаться на интерактивной карте в виде полупрозрачных слоев. Кроме того, необходимо было реализовать возможность моделировать гипотетические ситуации — возможность располагать на карте виртуальные источники выбросов и редактировать их параметры для прогнозирования загрязнения, которое будет получено в случае превращения этих виртуальных источников в реальные. Также необходимо было реализовать возможность доступа к полученным экологическим картам через интернет для информирования населения о состоянии атмосферного воздуха.

В настоящее время для работы с картографическими и другими пространственными данными используются географические информационные системы (ГИС). Обычно они содержат средства для управления базой пространственных данных, средства для отображения и

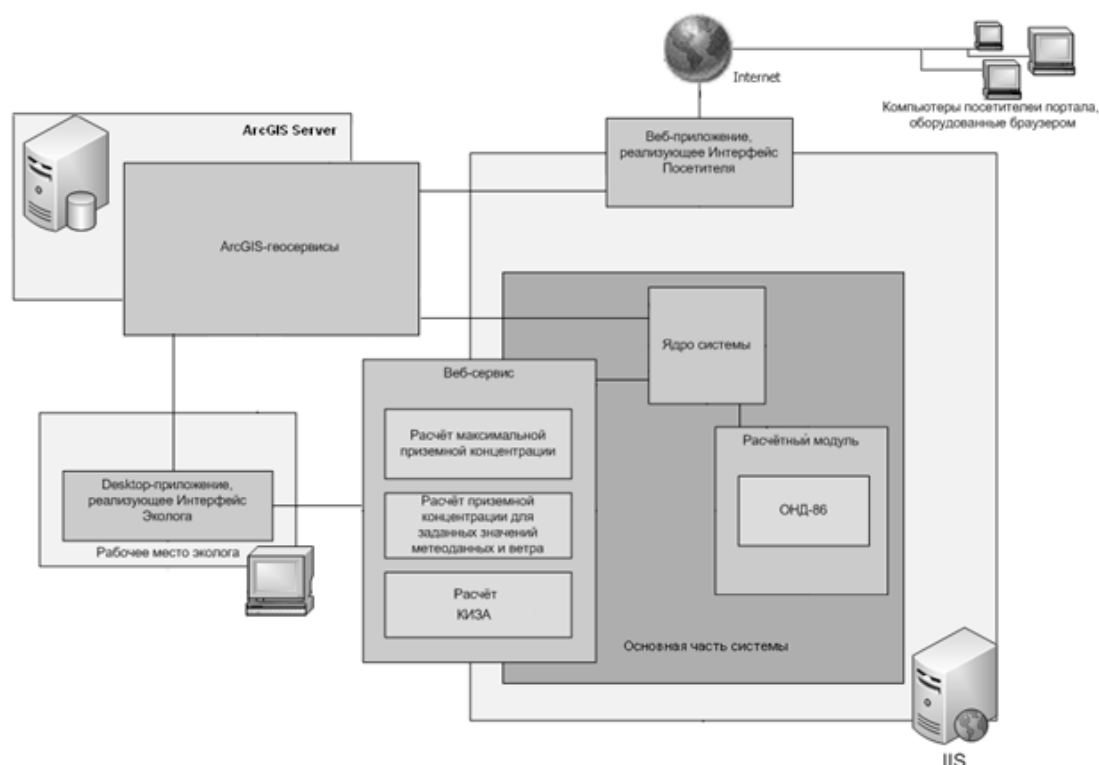


Рис. 2. Архитектура информационной системы

редактирования картографических данных и средства для проведения различных аналитических расчетов. В работе автора в качестве одной из составляющих информационной системы была использована геоинформационная система ArcGIS. С ее помощью осуществлялось хранение данных об источниках выбросов предприятий, метеорологических и картографических данных, а также полученных полей концентраций вредных веществ и полей КИЗА (использовалась технология ArcSDE). Кроме того, были использованы возможности ArcGIS по отображению интерактивных карт в desktop-приложениях (ArcGIS Engine) и на веб-страницах (ArcGIS Server), а также по манипуляциям с полями концентраций вредных веществ (Spatial Analyst). Остальная часть информационной системы была разработана своими силами путем программирования на платформе .NET.

#### Архитектура разработанной информационной системы

С точки зрения пользователей система включает в себя два основных интерфейса: Интерфейс Эколога, который представляет собой desktop-приложение для проведения расчетов полей концентраций вредных веществ в атмосфере и моделирования гипотетических ситуаций, и Интерфейс Посетителя Портала, который представляет собой web-приложение, содержащее интерактивную экологическую карту с результатами расчетов. Архитектура разрабатываемой информационной системы (рис. 2) является комбинацией двух типов архитектур — сервис-ориентированной архитектуры (для реализации Интерфейса

Эколога) и трехуровневой архитектуры (для реализации Интерфейса Посетителя Портала).

Структурно система состоит из следующих компонентов:

**ArcGIS Server.** На нем расположена база пространственных данных, в которой хранятся картографические, метеорологические данные и данные об источниках выбросов. Доступ к данным осуществляется с помощью геосервисов.

**IIS.** Это веб-сервер компании Microsoft. На нем устанавливается Ядро системы, Веб-сервис и Расчетный модуль ОНД-86. Кроме того, на IIS установлено Веб-приложение, реализующее Интерфейс Посетителя Портала.

**Ядро системы.** Оно координирует работу системы и является связующим звеном между возможностями ArcGIS Server и Расчетным модулем ОНД-86.

**Веб-сервис.** Предоставляет возможность подключаться к расчетному модулю системы через локальную сеть или интернет с помощью «толстого» клиента и использовать систему для проведения расчетов концентраций и КИЗА.

**Расчетный модуль ОНД-86.** Необходим для проведения математических расчетов по методике ОНД-86.

**Desktop-приложение.** Это «толстый» клиент, реализующий Интерфейс Эколога. С его помощью эколог получает доступ к имеющимся на ArcGIS Server геосервисам, а также доступ к возможностям Веб-сервиса.

**Веб-приложение.** Это «тонкий» клиент, реализующий Интерфейс Посетителя Портала. С его помощью посетитель портала получает доступ к интерактивной карте с результатами расчетов.

### Расчет концентраций вредных веществ и КИЗА с помощью системы

Рассмотрим процесс проведения расчета концентраций вредных веществ и КИЗА с помощью разработанной информационной системы. Для проведения расчета эколог запускает Desktop-приложение. Desktop-приложение подключается к ArcGISServer, с помощью геосервисов загружает необходимые данные, а затем отображает на экране интерактивную карту территории с обозначенными на ней источниками выбросов. Эколог может настроить параметры источников выбросов, направление и скорость ветра, температуру воздуха и список моделируемых веществ, а также размер ячейки поля концентраций. Кроме того, эколог может добавить на карту несколько виртуальных источников и настроить их параметры.

После того, как все необходимые параметры настроены, эколог может провести расчет поля максимальных приземных концентраций для какого-либо из источников выбросов, полей концентраций веществ при указанных условиях на заданной территории или поля КИЗА. После того, как требуемое действие запущено, приложение подключается к Веб-сервису, расположенному на IIS. Веб-сервис передает команду Ядру системы, и оно начинает моделирование, используя возможности Расчетного модуля ОНД-86 и данные ArcGISServer. Когда моделирование завершено, полученное поле концентраций размещается на ArcGISServer, а информация об этом передается обратно в Desktop-приложение. Используя полученную информацию, Desktop-приложение подгружает рассчитанное поле с ArcGISServer и добавляет на карту в виде полупрозрачного слоя (рис. 3). С помощью мыши можно опреде-

лить значение концентрации или КИЗА в любой его точке. Полученную карту, содержащую поле концентраций или КИЗА, можно разместить в Веб-приложении. В этом случае доступ к просмотру результатов расчетов появится и у посетителей экологического интернет-портала.

### Заключение

В результате проведенной работы была разработана информационная система для моделирования распространения загрязнения атмосферного воздуха с помощью методики ОНД-86, была создана архитектура системы, разработаны и реализованы в программных модулях оригинальные алгоритмы для расчета полей значений приземных концентраций вредных веществ, для перехода от координат, используемых в методике ОНД-86, к географическим координатам, с которыми работает ArcGIS [4], для расчета среднегодовых значений концентраций и комплексного индекса загрязнения атмосферы с использованием данных роз ветров. Важными особенностями системы, отличающими ее от аналогов, является возможность моделировать КИЗА (обычно в подобных программных средствах этой возможности нет) и размещать результаты моделирования в сети Интернет.

В дальнейшем возможно расширение системы путем добавления в нее динамических моделей, таких как модели Лагранжа и Эйлера. В этом случае появится возможность рассчитывать распространение загрязнения не только в пространстве, но и во времени, что поможет увеличить точность прогнозов и эффективность принимаемых мер и уменьшить негативное воздействие на атмосферу. Также автор считает перспективной возможность использовать

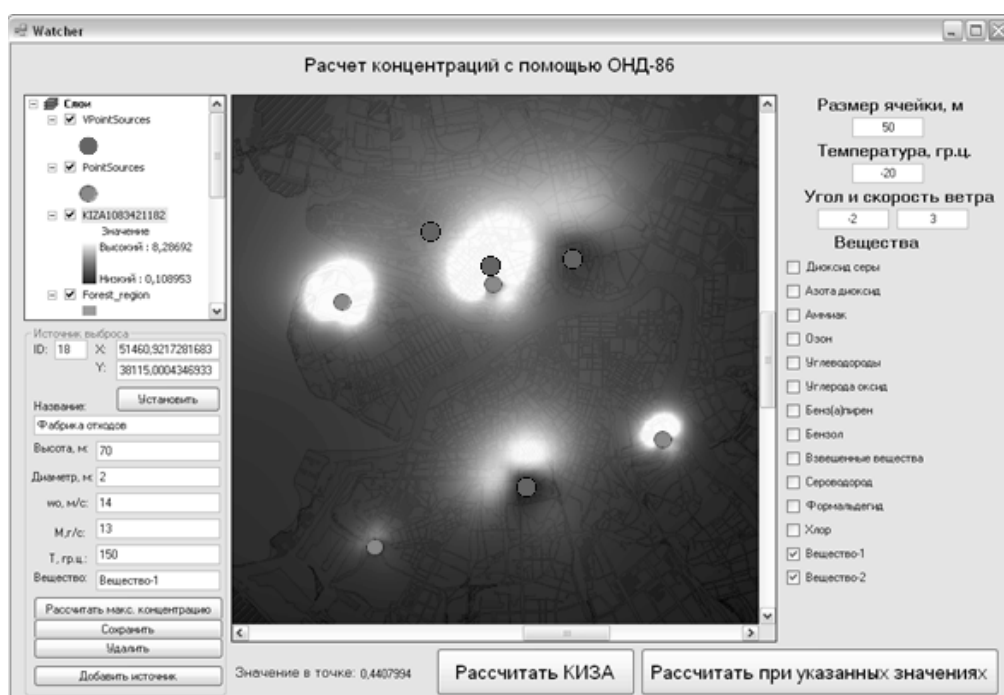


Рис. 3. Результаты расчета КИЗА с помощью разработанной системы

искусственные нейронные сети, обучаемые на статистических данных, получаемых с автоматических станций контроля загрязнения атмосферы. Нейронные сети предлагаются использовать для коррекции результатов расчетов

полей концентраций динамическими моделями. В таком случае будут учтены неявные факторы, не учитываемые напрямую в моделях, но, тем не менее, влияющие на распространение загрязнения воздуха на данной территории.

#### Литература:

1. С.С. Замай, О.Э. Якубайлик. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города. — Красноярск: Краснояр. гор. ун-т., 1998. — 109 с.
2. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 / Под ред. М. Е Берлянда. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 94 с.
3. В.И. Стурман. Экологическое картографирование. Учебное пособие. — М.: Аспект Пресс, 2003. — 251 с.
4. Г.В. Горячев, к.т.н., доц.; М.А. Гаврилюк. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с использованием ГИС-технологий по методике ОНД-86 / УДК 631.514.
5. Пигурнов Е.В., Таран Т.А., Хомяков А.Т. Система исследования и моделирования загрязнения воздушного бассейна выбросами промышленных предприятий / Программные продукты и системы. Выпуск № 1 за 1995 год.
6. Постнова И.С. Картографирование загрязнения воздушной среды промышленных городов / Интеркарто — 6 (г. Апатиты, 22–24 августа 2000 г.).

## Применение кибернетической модели для построения оптических спектров воды

Уляхина Д.А., аспирант, Еремина В.В., кандидат физико-математических наук, доцент  
Амурский государственный университет (г. Благовещенск)

Самой распространенной в природе жидкостью, а соответственно и наиболее часто используемым в технике жидким полярным диэлектриком, является вода. При этом ее молекула обладает практически всеми видами упругой деформации заряженных частиц, вызываемой действием слабого электрического поля. Данные обстоятельства определили наличие многочисленных и самых разнообразных экспериментальных данных, позволяющих достоверно оценить адекватность моделей, используемых для описания диэлектрических свойств полярных жидкостей.

Известно, что в рамках классической теории поляризации, явления, происходящие в воде под действием внешнего электрического поля, могут быть представлены следующей системой уравнений [1, с. 67]:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \mu_{el}(t)}{dt^2} + 2b_{el} \frac{d\mu_{el}(t)}{dt} + \omega_{0el}^2 \mu_{el}(t) &= \frac{8e^2}{m_e} E(t); \\ \frac{d^2 \mu_{Ik}(t)}{dt^2} + 2b_{Ik} \frac{d\mu_{Ik}(t)}{dt} + \omega_{0Ik}^2 \mu_{Ik}(t) &= \frac{q_H^2}{M} E(t), \quad k = \overline{1,4}; \\ \frac{d^2 \mu_d(t)}{dt^2} + 2b_d \frac{d\mu_d(t)}{dt} + \omega_{0d}^2 \mu_d(t) &= \frac{\mu_0^2}{I} E(t) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mu_{el}(t)$ ,  $\mu_{Ik}(t)$  и  $\mu_d(t)$  — временные функции, отражающие динамики изменения дипольных моментов, обусловленных соответственно упругой электронной, упругой ионной и дипольной поляризациями молекулы воды;  $k$  — индекс разновидностей трансформации химических связей  $OH$  (две пары валентных и деформационных колебаний);  $b_{el}$ ,  $b_{Ik}$ ,  $b_d$  и  $\omega_{0el}$ ,  $\omega_{0Ik}$ ,  $\omega_{0d}$  — динамические параметры уравнений соответствующих процессов;  $8e$  — электрический заряд оптической оболочки иона кислорода, заполненной восемью электронами;  $m_e$  — масса электрона;  $q_H$  — заряд иона водорода;  $M$  — приведенная масса связи  $OH$ ;  $\mu_0$  и  $I$  — собственный дипольный момент и момент инерции молекулы  $H_2O$ .

Однако, в данном случае при использовании комплексной диэлектрической проницаемости Борна (2), оказывается то, что она принципиально не учитывает действие электрических полей, возникновение которых имеет место при поляризации ближайшего окружения произвольной молекулы, локализованной в плотной среде, которые существенно влияют на величину эффективного поля, действующего на частицу.

$$\varepsilon(j\omega) = 1 + \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^K \alpha_i(j\omega) N_i, \quad (2)$$



Кроме того, использование формулы (2) приводит к появлению так называемой «катастрофы Мосотти», обусловленной наличием отрицательных значений действительной части комплексной диэлектрической проницаемости в области установившихся режимов поляризационных процессов.

С целью ликвидации данного обстоятельства за счет уточнения причинно-следственных связей между внешним, деполяризующим и локальным полями, представленными в рамках исходных положений модели Лорентца, проведенного с позиций технической кибернетики, в рамках строгих математических преобразований исходной системы дифференциальных уравнений, описывающих совокупность поляризационных процессов с явным указанием имеющих в них место обратных связей была сформирована «кибернетическую модель» [2, с. 52]:

При этом выражение комплексной диэлектрической проницаемости будет иметь вид (3):

$$\varepsilon(j\omega) = 1 + \frac{2}{3\varepsilon_0} \sum_{i=1}^K \alpha_i(j\omega) N_i \quad (3)$$

Принимая во внимание, что общее число электронных пар, имеющих у молекулы воды, равно пяти, соответствующая динамика процесса упругой электронной поляризации описывается уравнениями (4):

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \mu_k(t)}{dt^2} + 2b_k \frac{d\mu_k(t)}{dt} + \omega_{0k}^2 \mu_k(t) &= \frac{2e^2}{m_e} E(t), \quad k = \overline{1,5}; \\ E(t) &= E_0(t) - \frac{2}{3\varepsilon_0} \sum_{k=1}^5 \mu_k(t) N_k, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mu_k(t)$  — наведенные дипольные моменты соответствующих частиц;  $\omega_{0k}$  и  $b_k$  — частоты собственных колебаний и коэффициенты их затухания;  $e$  и  $m_e$  — заряд и масса электрона;  $E_0(t)$  и  $E(t)$  — функции напряженности внешнего и эффективного полей;  $\varepsilon_0$  — электрическая постоянная;  $N_k$  — концентрации одинаковых частиц.

При этом формулы коэффициентов затухания и собственных частот разбираемых колебаний, а также радиальных значений электронных орбит имеют вид (5):

$$\omega_{0k}^2 = \frac{Z_{эфk} e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e r_k^3}; \quad 2b_k = \frac{2e^2 \omega_{0k}^2 \mu_0}{6\pi c m_e}; \quad r_k = \frac{n^2 r_0}{Z_{эфk}}; \quad r_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_e}, \quad k = \overline{1,5} \quad (5)$$

где  $Z_{эф}$  — эффективный заряд ядра, действующий на электроны оптической оболочки ионов;  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $r_k$  — сферический радиус орбитали;  $r_0$  — первый Боровский радиус;  $n$  — главное квантовое число электронной оболочки;  $\hbar$  — постоянная Планка.

Необходимо отметить, что величины  $Z_{эфk}$  могут рассчитываться на основании методики (6), предложенной Слейтором, согласно которой:

- вклад электронов, внешних по отношению к группе  $X$  (предполагается, что рассматриваемая орбиталь принадлежит некоторой группе  $X$ ), равен 0;
- вклад электронов из группы  $X$  равен 0,30, если это  $s^1$ -электроны, и 0,35 в остальных случаях;
- если рассматриваемые электроны находятся на  $s^k$ - или  $p^k$ -орбиталях группы  $X$ , то вклад каждого из электронов, расположенных на внутренних орбиталях с главным квантовым числом  $n-1$ , равен 0,85, а вклады электронов, находящихся на орбиталях с главным квантовым числом  $n-2$ ,  $n-3$ , ... равны 1,00;
- если рассматриваются электроны, расположенные на  $d^k$ - или  $f^k$ -орбиталях группы  $X$ , то вклад каждого из электронов для групп, предшествующих рассматриваемой равны 1,00.

$$\begin{aligned} Z_{эф1} &= 8 - 1 \cdot 0,3; \\ Z_{эф2} &= 8 - (2 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,35); \\ Z_{эф3} &= 8 - (2 \cdot 1,00 + 2 \cdot 0,85 + 1 \cdot \sigma_p); \\ Z_{эф4} &= 8 - (2 \cdot 1,00 + 2 \cdot 0,85 + 3 \cdot \sigma_p); \\ Z_{эф5} &= 8 - (2 \cdot 1,00 + 2 \cdot 0,85 + 5 \cdot \sigma_p), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\sigma_p$  — значения экранирующих вкладов для  $3p$ -электронов.

Однако, при моделировании графика оптического показателя преломления воды, полученного на базе уравнений (4–6), было обнаружено несоответствие данных физических измерений и расчетного спектра, поэтому авторами было предложено значение  $Z_{эф}$ , объективно характеризующее эффективный заряд атомного остатка, действующий на каждый из электронов иона  $O^{-2}$ , определять по модифицированной методике Слейтора, в которой значения  $\sigma_p$  в трех последних



случаях заменяются на истинные экранирующие вклады оптических электронов аниона кислорода, входящего в состав  $H_2O$ , полученные методом сканирования интегральной ошибки между моделируемым и контрольным спектром воды:

$$\begin{aligned} Z_{\phi 1} &= 8 - 1 \cdot 0,30; \\ Z_{\phi 2} &= 8 - 2 \cdot 0,85 - 1 \cdot 0,35; \\ Z_{\phi 3} &= 8 - 2 \cdot (1,00 + 0,85) - 1 \cdot 0,125; \\ Z_{\phi 4} &= 8 - 2 \cdot (1,00 + 0,85) - 3 \cdot 0,125; \\ Z_{\phi 5} &= 8 - 2 \cdot (1,00 + 0,85) - 5 \cdot 0,125. \end{aligned} \quad (7)$$

Результаты имитационного моделирования оптимизированного оптического спектра  $n(\lambda)$  воды изображены на рисунке 1.

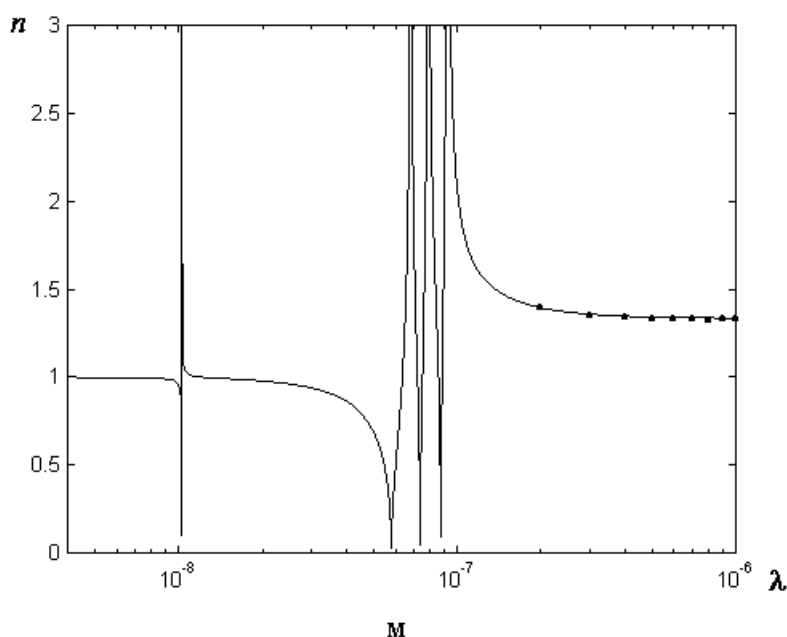


Рис. 1. Имитационный оптический спектр воды: точки соответствуют его физическим измерениям [3, с. 39] в области видимых частот

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы: во-первых, кибернетическое уравнение диэлектрической проницаемости вида (3) является универсальным, так как оно применимо не только к типичной полярной жидкости, но и к диэлектрикам в целом, в частности, к ионным кристаллам. Во-вторых, предложенные математические модели оказываются достаточно эффективными, поскольку позволяют рассчитывать оптические спектры, адекватные их физическим аналогам.

#### Литература:

1. Костюков Н.С., Банышева В.В. Поляризационные процессы в воде // Электричество. 2001. № 11. С. 66—69.
2. Костюков Н.С., Еремин И.Е. Кибернетическая модель процесса упругой электронной поляризации диэлектрика // Электричество. 2004. № 1. С. 50—54.
3. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред: справочник. — Л.: Химия, 1984.

## Состав программного обеспечения для комплекса мониторинга лесопожарной обстановки

Шкуратов А.В., аспирант

Томский политехнический университет

Ежегодно в Российской Федерации происходят тысячи лесных пожаров, приносящие миллиардные убытки. Своевременное обнаружение лесных пожаров является залогом быстрой локализации и ликвидации. В лесном хозяйстве разработана и давно действует отлаженная схема патрулирования лесных массивов, которая делится на 5 подходов, называемых зонами мониторинга. Это:

1. Зона наземного патрулирования и наземного применения сил и средств — когда патрулирование и тушения производят наземные силы. Возможно лишь вблизи населенных пунктов.

2. Зона авиационного патрулирования и наземного применения сил и средств — когда патрулирование производится, в том числе и при помощи воздушных судов, а тушение — наземными силами. Возможно на большем отдалении, чем предыдущая зона.

3. Зона авиационного патрулирования и применения сил и средств — когда патрулирование и тушение производится при помощи воздушных судов. Возможно на том расстоянии, на которое может отойти воздушное судно.

4. Зона космомониторинга 1 уровня — когда наблюдение производится при помощи систем дистанционного зондирования, тушение не производится.

5. Зона космомониторинга 2 уровня — наблюдение производится при помощи систем дистанционного зондирования, тушение не производится.

В приведенных описаниях важную роль играют воздушные суда, позволяющие с наибольшей скоростью и точностью обнаружить пожар, определить его местоположение и вызвать необходимое подкрепление. Эту работу на борту воздушного судна выполняет летчик-наблюдатель.

В список задач летчика-наблюдателя входят следующие задачи:

1. Необходимость ориентироваться на местности, выдерживать заранее запланированный маршрут полета. Для этого он использует специальные бумажные карты с разметкой лесных массивов.

2. В случае обнаружения пожара, записать его координаты, квартал и другие характеристики пожара, необходимые для того, чтобы планировать, сколько сил и средств нужно для его тушения, а также, чтобы спрогнозировать развитие лесного пожара. Эту информацию он записывает в бортовой журнал.

3. При пролете над локальными диспетчерскими пунктами, связываться с диспетчером, получать указания и передавать информацию об обнаруженных лесных пожарах. Для этого он использует радиосвязь.

Таким образом, при работе летчик-наблюдатель сталкивается со следующими трудностями:

1. Большое количество бумажных карт, с которыми необходимо постоянно сверяться.

2. Большое количество вещей, с которыми нужно проводить разные действия: карты, GPS-приемник, бортовой журнал, ручка, радиостанция.

3. Некачественная радиосвязь.

Среди всех трудностей более подробно следует рассмотреть некачественную голосовую радиосвязь, так как этот фактор напрямую влияет на скорость передачи информации с борта воздушного судна в диспетчерский пункт и на то, как скоро начнется тушение. И также нужно отметить, что никаких других возможностей связаться с центром у летчика-наблюдателя — нет. Последствия этого фактора следующие:

1. Из-за ограниченности радиуса действия, связь не может быть установлена. И даже в этом случае, летчик-наблюдатель обязан вести ВС по маршруту, а не к ближайшему ДП.

2. Из-за плохого качества, информация может быть искажена при передаче, что может быть чревато потерей времени.

Кроме всего перечисленного, использование воздушных судов является очень дорогостоящим. И часто необходимо иметь документальное подтверждение верности и качества проведенного полета.

Необходимо решение, которое объединит в себе следующие функции:

1. Навигация, поддерживающие векторные электронные карты с нанесенной квартальной сетью.

2. Возможность записывать трек полета.

3. Возможность отметить точку пожара.

4. Возможность в автоматическом режиме передавать навигационные данные, используя радиосвязь, GSM, спутниковые каналы связи.

На данный момент существуют решения, которые могут частично решить эти задачи, такие, например, как:

1. Программные средства, такие как OziExplorer, ArcMap и так далее. Но они помогают лишь отображать трек на карте и ориентироваться на местности. Но не могут передавать информацию в диспетчерский пункт.

2. Аппаратные средства: персональные переносные трекеры. Но они не позволяют ориентироваться на местности. Также большинство из них требуют надежного монтажа, что невозможно обеспечить при патрулировании лесов, так как по специфике работ чаще всего заранее неизвестно на каком именно борту будет выполняться патрулирование. Кроме того, часто патрулирование проводится на арендуемых судах, установка дополнительного оборудования на которые невозможна.

Таким образом, аппаратно-программного комплекса способного решить эти задачи — не существует, так как решение должно выполнять перечисленные выше функции, а также быть переносным. Необходима разработка программного обеспечения, которое устанавливается на любой ноутбук (обычный или защищенный), поддерживает подключение разных GPS\Глонасс навигаторов и каналов связи (радиоканала, сотовых и спутниковых модемов).

Особенности использования компьютерной техники на борту воздушного судна заключаются в следующем:

1. На месте летчика-наблюдателя очень мало места. Изначально оно не предназначено для размещения там какого-либо оборудования подобного рода. Ему приходится убирать ноутбук либо куда-то далеко, либо пристегивать на специальные резинки к разным стойкам. В это время, он может его случайно закрыть, стукнуть и так далее. Также нежелательно, чтобы устройства типа модема и навигационного приемника были подключены при помощи проводов. В таком маленьком пространстве они очень мешают.

2. В воздушных судах малой авиации трясет, это влияет на ввод информации. Пользователь может случайно нажать кнопку 2 раза, очень трудно попасть в маленькие кнопки.

3. Так как полеты производятся в светлое время суток, в отсутствии облачности (в то время когда пожары наиболее вероятны), то возможны блики на экране, что усложняет использование техники.

4. Большую часть времени воздушное судно в процессе проводит на солнце, что приводит к повышению температуры в кабине. При повышенной температуре возможен повышенный износ всего оборудования.

Все эти особенности налагают ряд требований к аппаратной части: устойчивость к повышенной температуре, вибрациям, антибликовое покрытие, долгое время работы и легкий вес. К сожалению, на текущий момент на рынке не существует решения, удовлетворяющего всем требованиям.

### **Предлагаемое решение**

В качестве аппаратного решения предлагается использовать промышленные ноутбуки, с SSD винчестером, встроенным сотовым модемом, беспроводным навигационным приемником и адаптером питания от бортовой сети воздушного судна. Такое решение прослужит достаточно долго в экстремальных условиях и сможет обеспечить необходимый уровень работоспособности и длительности работы. В эту минимальную комплектацию не входит: антибликовое покрытие, требования по весу и времени работы.

В качестве программного решения предлагается программное обеспечение, отличающееся новизной структуры, объединяющей ГИС, учет пожаров и передачу данных по новым алгоритмам, отличающиеся оптимальностью записи навигационных данных, поддержкой раз-

нообразных приемников и средств передачи, а также надежностью хранения данных.

Пользовательский интерфейс включает в себя:

1. Карту местности
2. Данные с навигационного приемника

Интерфейс является интуитивно понятным и простым. Кнопки на всех формах блокируются после нажатия на 3 секунды, чтобы предотвратить непроизвольные повторные нажатия.

Режим питания в процессе полета запрещает засыпания ноутбука и переводит его на пониженное энергопотребление.

Предлагаемый состав программного обеспечения представлен на рисунке 1.

Состав разделен (пунктирными линиями) на 3 уровня:

1. Уровень пользовательского интерфейса (слева)
2. Уровень системных сервисов (в центре)
3. Уровень работы с данными и устройствами (справа)

ГИС модуль представляет собой электронную карту местности и набор функций для работы с ней и использования пространственной геометрии. Этот набор программных интерфейсов разработан таким образом, чтобы возможно было использовать любую ГИС компоненту внутри приложения.

Модуль адаптивного рендеринга представляет собой отдельный блок, который является прослойкой между ГИС подсистемой и остальным программным кодом. Анализируя загрузку процессора, эта подсистема балансирует нагрузку, изменяя поток команд для отрисовки на карте.

Этот блок необходим, так как не все ГИС подсистемы имеют его и, в случае если применяемый ноутбук слаб по своей производительности, это может привести к его зависанию. То есть потребности программного обеспечения будут выше, чем технические возможности ноутбука. Этот модуль «уменьшает» требования по необходимости. Этот блок сам по себе не является визуальным, однако эффект его работы напрямую проявляется на пользовательском интерфейсе.

Модуль редактирования информации представляет собой автоматически генерируемые формы и таблицы для редактирования, создаваемые на основе XML-конфигураций. Эта подсистема позволяет просматривать и редактировать такие данные как пожары, пожары по данным космомониторинга и так далее.

Модуль записи навигационных данных служит для приема потока навигационных данных от блока чтения навигационных данных, подготовки данных к записи, оптимизации потока путем отбрасывания лишней информации (в блоке фильтрации навигационных данных) и записи их в базу данных. Вместе с информацией о навигационных точках, могут записываться так называемые навигационные события — это важные события, произошедшие в процессе полета и имеющие прямое отношение к выполняемой задаче, либо состоянию комплекса. Это могут быть: фиксация пожара, фиксация лесонарушения, критичный уровень заряда батареи, превышение порога температуры



Рис. 1. Состав бортового программного обеспечения

и так далее. Использование таких событий необходимо хранения важной информации, анализа проделанной работы и анализа возникших проблем при эксплуатации.

Модуль передачи информации отвечает за надежную передачу информации по комбинированным сетям с поддержкой ретрансляции и гарантией доставки. Эта подсистема использует ряд специализированных блоков управления устройствами, реализованными для разных типов каналов связи. Также для передачи данных разработаны ряд новых протоколов, позволяющих эффективно сжимать навигационную и другую производственную информацию.

Модуль импорта данных ИСДМ-Рослесхоз отвечает за дополнительный разбор и интерпретацию данных, полученных из системы ИСДМ-Рослесхоз. К таким типам информации относят: данные космомониторинга, данные по формам 27, 28 и 29.

Модуль формирования отчетности служит для анализа данных и формирования отчетной документации, такой как бортовой журнал — очень сложный и основной документ-отчет летчика-наблюдателя.

Модуль логики и управления записью и передачей информации является связующим звеном, объединяющим и управляющим подсистемами записи, чтения и фильтрации навигационной информации и подсистемой передачи информации.

Модуль чтения навигационных данных поддерживает работу с тремя типами подключения приемников: через COM-порт, Bluetooth и по протоколу USB-Garmin. Основная функция блока — держать подключение к приемнику и считывать с него информацию.

Модуль фильтрации навигационных данных предназначен для оптимизации потока навигационной информации путем отбрасывания лишних точек на лету. Результатом работы является набор точек, повторяющих реальное перемещение с указанной в параметрах точностью.

Модуль работы с GSM, спутниковыми системами и радиоканалом служат для непосредственной передачи данных по этим каналам связи.

### Заключение

В результате работы сформулирована важность авиационного патрулирования лесов, проанализированы условия работы летчика-наблюдателя. Предложен минимальный набор средств для автоматизации его работы, оригинальный состав программного обеспечения, позволяющий решать производственные задачи.

Полученные результаты были реализованы и испытаны в реальных условиях при патрулировании лесов на воздушных судах АН-2, EV-97, R-44 в Московской и Новосибирской областях и доказали свою практическую ценность.

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### Система управления знаниями предприятия-разработчика программного обеспечения для телекоммуникационной отрасли

Дмитриев П.И., соискатель кафедры информатики и математики  
Санкт-Петербургский государственный университет культуры и искусств

*В статье предлагается создание системы управления знаниями предприятия — разработчика программного обеспечения для телекоммуникационной отрасли на основе модели знаний инфокоммуникационной системы, описываемой в виде дополняющих друг друга онтологий.*

#### Введение

Сегодня знания рассматриваются как наиболее ценный ресурс, как важный фактор приобретения конкурентных преимуществ. В связи с этим возникает необходимость в эффективном управлении знаниями и создании систем поддержки этого процесса на современных предприятиях.

Знания предприятия происходят (получаются, извлекаются) из ресурсов знаний. Ресурсы знаний различаются в зависимости от отраслей индустрии и приложений, но, как правило, включают различные руководства, письма, информацию о заказчиках, сведения о конкурентах и технологии, накопившиеся в процессе разработки продукции и т.д. [1]. Сами эти ресурсы рассредоточены по всему предприятию и могут находиться в различных местах, например, в электронных документах, мультимедиа файлах, базах данных, а также у специалистов.

Основным ресурсом знаний предприятия — разработчика программного обеспечения является документация на программное обеспечение (ПО). Эти знания используются во всех основных технологических процессах такого предприятия: разработке проектной документации, разработке программных продуктов, документировании, тестировании, внедрении и сопровождении. Всю совокупность разрабатываемого на предприятии ПО можно рассматривать как единую инфокоммуникационную систему, в которой информационные процессы и методы работы с информацией осуществляются с применением средств вычислительных техники и средств телекоммуникаций.

В целях поддержки и улучшения организационных процессов создания, сохранения, извлечения, перемещения и применения знаний современные предприятия разрабатывают автоматизированные системы управления знаниями (СУЗ).

В данной статье предлагается выполнять создание СУЗ на основе онтологического подхода с использованием онтологической базы знаний инфокоммуникационной системы.

#### Концепция и архитектура системы управления знаниями

Концепция СУЗ состоит в совмещении двух типов СУЗ, основанных на прагматических и содержательных аспектах представления знаний, их извлечения и обработки, подробно рассмотренных в работе [5]. Ключевым компонентом СУЗ является поисковая подсистема, обеспечивающая оперативный отбор и доставку адекватной информации по запросам. Поиск информации производится не в хранилище документов на ПО, а в онтологии инфокоммуникационной системы. Используется комбинация синтаксического и семантического поиска, т.е. поиск выполняется в экземплярах онтологии с учетом их семантических свойств и связей. Результатом такого поиска являются знания, обработку которых реализует эксплуатирующий систему специалист (сотрудник предприятия или сотрудник заказчика).

Обычно при разработке СУЗ выделяют следующие этапы [2]:

- накопление — стихийное и бессистемное накопление информации в организации;
- извлечение — процесс, идентичный традиционному извлечению знаний для экспертной системы (один из наиболее сложных и трудоемких этапов, от его успешности зависит дальнейшая жизнеспособность системы);
- структурирование — на этом этапе должны быть выделены основные понятия, выработана структура представления информации, обладающая максимальной наглядностью, простотой изменения и дополнения;
- формализация и программная реализация. Представление структурированной информации в форматах машинной обработки на языках описания данных и знаний и организация автоматизированной обработки и поиска информации по запросу.
- обслуживание — под процессом обслуживания понимается корректировка формализованных информации и знаний (добавление, обновление, удаление).

Для СУЗ предприятия — разработчика программного обеспечения для телекоммуникационной отрасли типовые



этапы разработки претерпевают некоторые изменения. Этап накопления отсутствует, так как в качестве ресурса знаний используется документация на ПО. Этапы извлечения, структурирования и формализации сводятся к разработке онтологии инфокоммуникационной системы и ее наполнению. Дополнительным этапом СУЗ является формирование комплектов документации.

В рамках данной концепции вся документация на ПО пересматривается с точки зрения компонентной структуры, выявляются минимальные единицы учёта — модули документации (МД). Модуль документации — дискретный модуль информации в электронном формате, который может быть использован много раз.

МД является неделимым, с точки зрения хранения и использования, фрагмент документации. МД оформляется как самостоятельный документ.

Каждый вид МД представляет собой соответствующее понятие инфокоммуникационной системы, которое описывается в некотором документе на ПО. Например, настроечный параметр, назначение продукта, назначение подсистемы, описание процедуры/функции, описание таблицы базы данных, описание визуальной формы (окна) приложения и т.д. Каждые МД — это экземпляр этого понятия.

В качестве примера МД можно привести описание настроечного параметра — настройка (переключатель), включающая/выключающая некоторую функциональность или разрешающая/запрещающая что-либо и т.п. Описание настроечных параметров обычно создается в руководстве системного программиста на подсистему. На рис. 1 представлен пример описания настроечного параметра.

Очевидна невозможность мгновенного внедрения компонентной структуры на всём массиве документации. Однако представляется возможным поэтапный перевод документации на новую структуру.

Постепенно выделяются или создаются новые виды МД с участием экспертов-документаторов, а также с возможным привлечением для этого других экспертов (аналитиков, постановщиков, разработчиков и т.д.) в области соответствующего направления разработки ПО.

На первом (основном) этапе МД включаются в цельные документы. На втором (заключительном) этапе документы автоматически формируются из МД.

На рис. 2 представлен фрагмент онтологии инфокоммуникационной системы для настроечного параметра. Основными понятиями данного фрагмента являются: настроечный параметр, функциональность и подсистема, которые являются концептами (классами) онтологии.

Концепт «Настроечный параметр» имеет следующие основные атрибуты (в скобках указаны тип значения и разрешенные значения атрибута):

- название (строка);
- путь к МД (строка);
- подсистема (экземпляр класса «Подсистема»);
- функциональность (экземпляр класса «Функциональность»);
- язык (строка; возможные значения: русский, английский и т.д.).

Процесс создания компонентной документации может быть эффективен только при использовании на предприятии с централизованным администрированием ресурсов, когда структура и содержание всех разрабатываемых документов, в том числе и МД, определяются стандартами предприятия и тщательно тестируются.

Так как документаторы теперь не работают с полными текстами документов, а только с МД, дополнительно на заключительном этапе возникает задача формирования цельных динамических документов, когда, например, по какой-либо подсистеме вся документация переведена на компонентную структуру [3]. Динамически формируемый документ — документ, который определяет необходимый набор МД.

Часть документов строится на основе predetermined шаблонов документов. Другая часть документов собирается на основе выборки, полученной пользователем на этапе поиска знаний, либо непосредственно им указанной.

На рис. 3 представлен пример схемы формирования динамического документа из экземпляров онтологии.

Основными компонентами СУЗ являются:

- Онтология инфокоммуникационной системы. Используется для описания информационных ресурсов с учетом семантики обрабатываемой информации.
- Поисковая подсистема. Обеспечивает оперативный отбор и доставку адекватной информации по запросам.
- Подсистема компоновки документов. Выполняет формирование требуемых цельных документов.

#### 1001 - FUCTURIES\_AMOUNT

Счета-фактуры.

Параметр является признаком формирования счета-фактуры.

Используется поле VALUE\_NUMBER:

- 1 — формировать счет-фактуру по отгрузке; режим работы со счетами-фактурами определяется значением настроечного параметра 1094 — MODE\_FUCTURY;
- 4 — не формировать счет-фактуру.

Значение по умолчанию — 1.

Рис. 1. Пример описания настроечного параметра



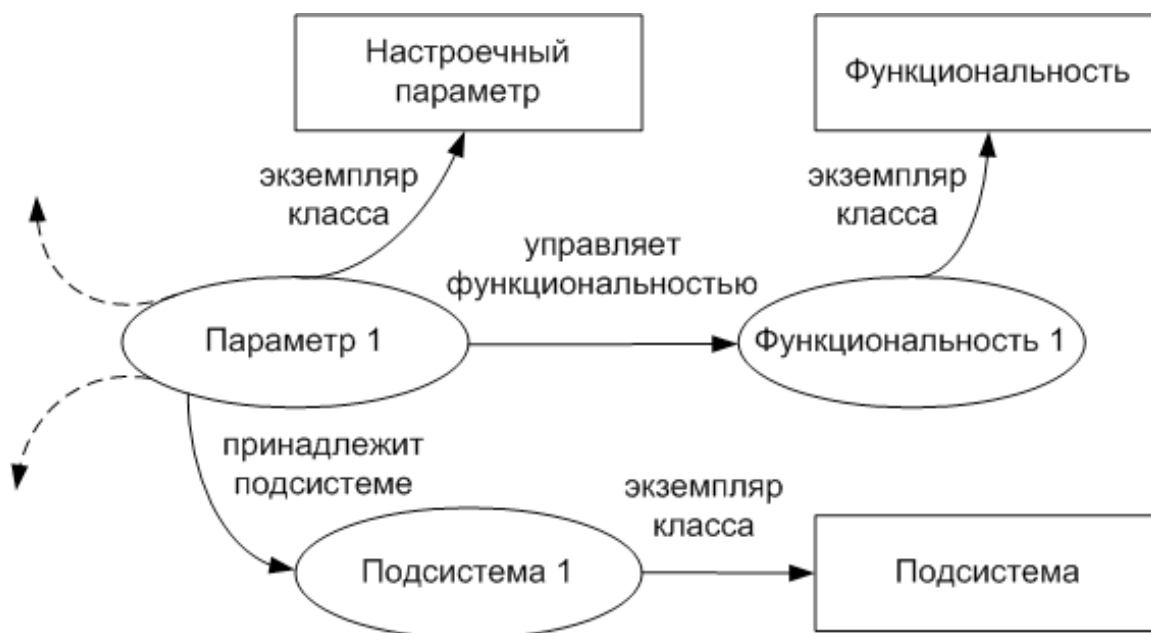


Рис. 2. Фрагмент онтологии для настраиваемого параметра

- Подсистема разграничения доступа. Обеспечивает разграничения доступа к информационным ресурсам.
- Подсистема целостности онтологии. Обеспечивает контроль целостности онтологии.

Продукт Microsoft SharePoint 2010 представляет собой технологическую платформу СУЗ.

Архитектура СУЗ и основные участники процесса управления знаниями представлены на рис. 4.

Онтология инфокоммуникационной системы разделена на функциональные составляющие: онтологию документации на программное обеспечение, лингвистическую онтологию, онтологию продукции.

В онтологию документации на ПО выделены концепты, относящиеся к документации на ПО. Для каждого концепта выделяется подмножество ключевых атрибутов, служащих для однозначной идентификации экземпляров.

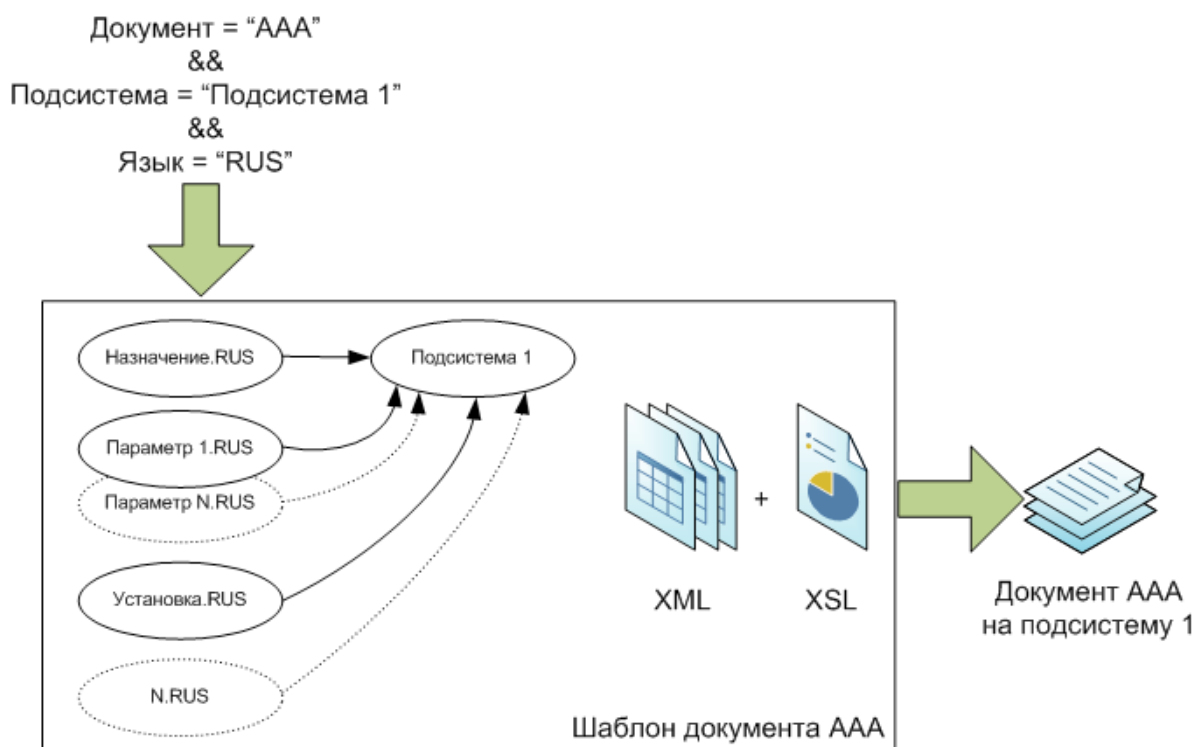


Рис. 3. Пример схемы формирования динамического документа

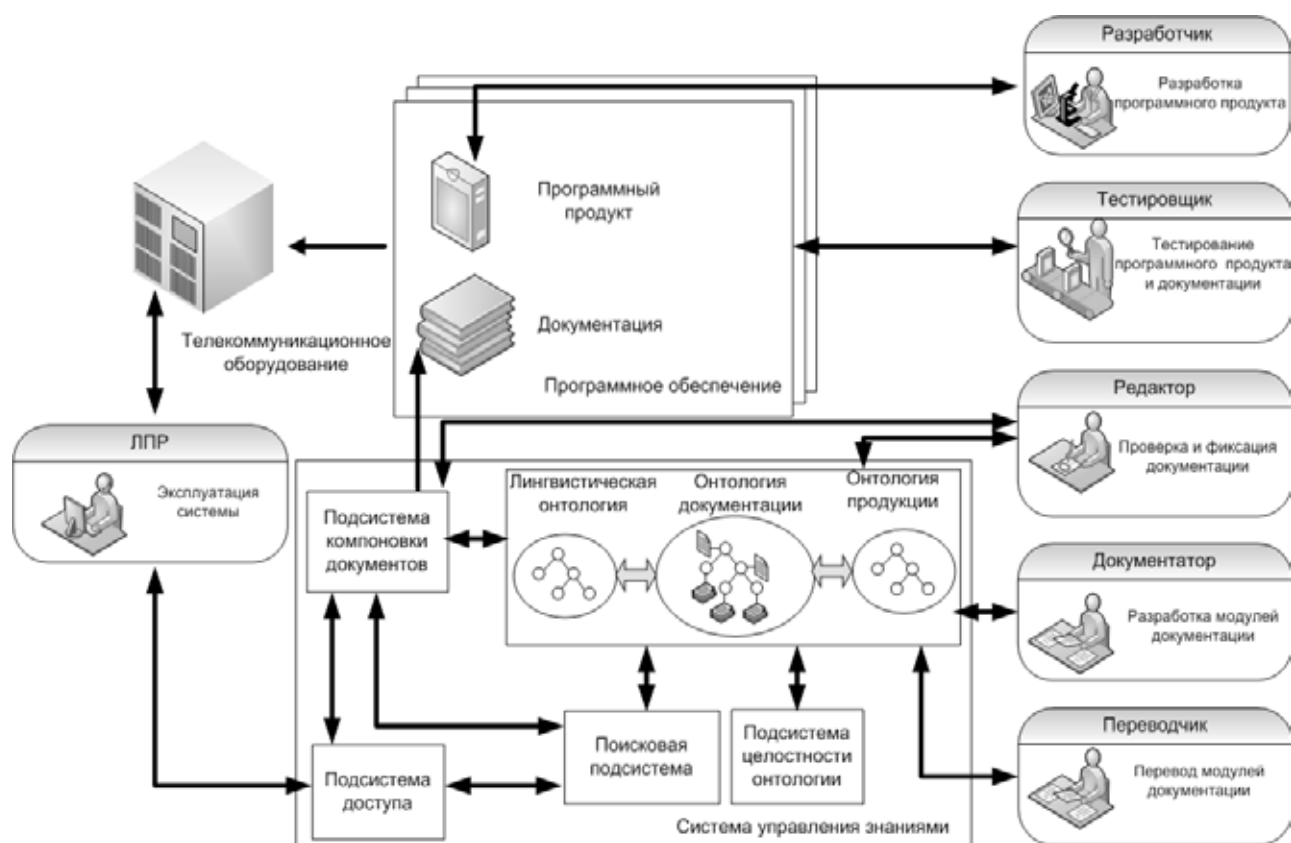


Рис. 4. Архитектура СУЗ и основные участники процесса управления знаниями

Онтология документации на ПО представляет собой библиотеку документов SharePoint. Для каждого концепта (вида МД) онтологии документации на ПО создан тип контента (Content Type) со своим набором столбцов (атрибутов).

Понятия онтологии, предназначенные для поддержки решения задач информационного поиска, должны быть связаны со значениями терминов предметной области. Такого рода онтологию принято называть лингвистической или словарной онтологией [7]. В основе лингвистической онтологии предметной области лежит карта бизнес-процессов, модели eTOM (enhanced Telecom Operations Map), разработанной международной некоммерческой организацией TeleManagement Forum (TM Forum) [4, 6]. Концепт лингвистической онтологии инфокоммуникационной системы рассматривается как пара — сигнатура (термин — функциональная возможность) из иерархии бизнес-процессов и множество ключевых слов, синонимов и сокращений к сигнатуре. Лингвистическая онтология реализована на основе набора терминов управляемых метаданных SharePoint.

В онтологию продукции выделены концепты, относящиеся к программным продуктам (например, подсистема, продукт, группа продуктов и т.д.). Онтология продукции реализована на основе списков SharePoint.

Компоненты программного обеспечения реализованы при помощи языка JavaScript, библиотек jQuery и AJAX, веб-служб SharePoint.

Онтология инфокоммуникационной системы является динамической. Функциональность продукта Microsoft SharePoint позволяет добавлять новые или изменять существующие типы контента и столбцы (атрибуты), в том числе и их типы данных.

### Заключение

Рассмотренный подход используется при разработке СУЗ компании «Петер-Сервис» (г. Санкт-Петербург), которая является ведущим разработчиком решений для телекоммуникационной отрасли, специализируясь на разработке, внедрении и обслуживании OSS/BSS систем для крупных операторов связи. Документация на ПО содержит около 90% всей информации о разрабатываемых в компании продуктах.

На сегодняшний день в онтологии документации на ПО выделено около 100 концептов и 7 типов отношений, создано около 14000 экземпляров. Объем документации на ПО, переведенный на компонентную структуру, составляет примерно 30%. Лингвистическая онтология включает один концепт — «Функциональная возможность», иерархия строится на основе отношения типа «класс-подкласс», создано около 400 экземпляров. В онтологии продукции выделено 6 концептов, таксономия строится на основе отношения типа «часть-целое» (включения), создано около 5000 экземпляров.

*Литература:*

1. Гаврилова Т.А. Использование онтологий в системах управления знаниями [Электронный ресурс] / Т.А. Гаврилова // «Бизнес Инжиниринг Групп» (БИГ-СПб), 2003. — Режим доступа: [http://bigc.ru/publications/bigspb/km/use\\_ontology\\_in\\_suz.php](http://bigc.ru/publications/bigspb/km/use_ontology_in_suz.php), свободный.
2. Гладун А.Я. Онтологии в корпоративных системах / А.Я. Гладун, Ю.В. Рогошина // Корпоративные системы. — 2006. — № 1. — С. 41–47.
3. Дмитриев П.И. Автоматизация процесса формирования комплектов технической документации на основе онтологического подхода / П.И. Дмитриев // Информация и космос. — 2011. — № 1. — С. 90–93.
4. Дмитриев П.И. Использование модели eTOM в системе управления знаниями инфокоммуникационной системы / П.И. Дмитриев // Сборник научных трудов IV международного научного конгресса «Нейробиотелеком 2010». — СПб.: «ТЕЛЕДОМ» ГОУВПО СПбГУТ, 2010. — С. 55–58.
5. Дмитриев П.И. Основные возможности Microsoft SharePoint 2010 для построения корпоративной системы управления знаниями / Дмитриев П.И. // Молодой ученый. — 2011. — № 4. Т.1. — С. 86–88.
6. Расширенная карта процессов оператора связи (eTOM®) [Электронный ресурс] / Jet Info, 2007. — Режим доступа: [http://www.jetinfo.ru/Sites/info/Uploads/2007\\_7.66B18310AEEF48B386233A330458F8F2.pdf](http://www.jetinfo.ru/Sites/info/Uploads/2007_7.66B18310AEEF48B386233A330458F8F2.pdf), свободный.
7. Рубашкин В.Ш. Онтологии: от информационно-поисковых тезаурусов к инженерии знаний / В.Ш. Рубашкин // Труды XX национальной конференции по Искусственному Интеллекту с международным участием — КИИ-2006, т. 2 — М.: Физматлит, 2006.

## Измерение комплексного коэффициента отражения резистивных компонентов с использованием зондовых измерительных преобразователей с коммутацией встроенной нагрузки

Белков И.Г., аспирант; Еремеев Ю.В., ассистент; Малышев И.Н., кандидат технических наук, доцент  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Для измерения параметров устройств и электронных компонентов в диапазоне СВЧ широко используются векторные анализаторы электрических цепей. Однако их высокая стоимость обуславливает интерес к новым измерителям, одними из которых являются интеллектуальные измерительные системы, в которых информационные сигналы детекторов подвергаются сложной обработке, а измеряемые параметры представляются моделями в виде функциональных рядов [1]. Расширение динамического диапазона и снижение стоимости измерительной системы реализуется различными режимами детектирования информационных сигналов (амплитудного, гомодинного) и различными режимами возбуждения тестируемого устройства. При гомодинном детектировании информационных сигналов используется низкочастотная модуляция зондирующего испытуемый объект (например, резистивный компонент) сигнала генератора СВЧ [2]. При амплитудном детектировании модулированных сигналов также повышается точность измерений ввиду отсутствия необходимости применения усилителей постоянного тока, обуславливающих дополнительную погрешность дрейфа нуля. При сочетании с анализатором спектра возможно расширение функциональности системы [3].

Применяемые в технике СВЧ резистивные компоненты, как правило, имеют сопротивление 50 Ом, либо кратные и дольные значения в нешироком диапазоне. Резистивные СВЧ-компоненты используются как в согласованном, так и рассогласованном режимах, поэтому требуется обеспечивать широкий динамический диапазон измерений.

Представляемый способ отличается от известных тем, что модулированным является только один из информационных сигналов, а не зондирующий. Измерительный преобразователь содержит управляемый переключатель, попеременно коммутирующий встроенную в него нагрузку с неизвестным коэффициентом отражения и подключаемую тестируемую нагрузку. Модуляция информационных сигналов обусловлена различием модулей коэффициентов отражения от тестируемой и встроенной нагрузок.

На рисунке 1 приведена схема измерения. Сигнал генератора качающейся частоты  $G$  подается на вход измерительного преобразователя. Часть сигнала через направленный ответвитель  $WF$  поступает на вход первого детектора (информационный сигнал  $U_1$ , пропорциональный амплитуде падающей волны). После направленного ответвителя сигнал через зонд подается на вход второго детектора (информационный сигнал  $U_2$ ) и отрезок коаксиального кабеля, выход которого подключен к входу управляемого переключателя, коммутирующего встроенную нагрузку  $Z_{in}$  и выход измери-

тельного преобразователя, к которому подключенная тестируемая нагрузка (резистивный компонент)  $Z_x$ . Переключатель управляется низкочастотной последовательностью прямоугольных импульсов.

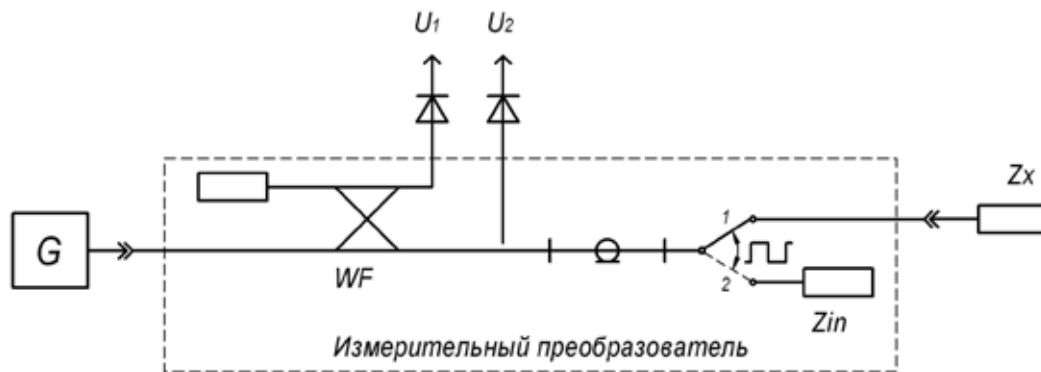


Рис. 1. Схема измерения с коммутацией встроенной нагрузки

Информационные сигналы используются для идентификации параметров моделей измерительного преобразователя и тестируемой нагрузки (резистивного компонента).

Выходные сигналы квадратичных детекторов определяются выражениями (сигналы второго детектора при верхнем и нижнем положениях переключателя обозначены верхними индексами 1 и 2 соответственно):

$$U_1 = \left( \frac{1 + B \cdot e^{j\varphi_B}}{1 - M \cdot e^{j\varphi_M}} \right)^2$$

$$U_2^{(1)} = \left( \frac{A + R \cdot e^{j\varphi_R} \cdot \Gamma_R^{(1)}}{1 - D \cdot e^{j\varphi_D} \cdot \Gamma_R^{(1)}} \right)^2$$

$$U_2^{(2)} = \left( \frac{A + R \cdot e^{j\varphi_R} \cdot \Gamma_R^{(2)}}{1 - D \cdot e^{j\varphi_D} \cdot \Gamma_R^{(2)}} \right)^2$$
(1)

где  $B, M, R, D, \varphi_B, \varphi_M, \varphi_R, \varphi_D$  – параметры модели измерительного преобразователя, определяемые при проведении калибровочных измерений;

$\Gamma_R^{(1)}$  и  $\Gamma_R^{(2)}$  – коэффициенты отражения на входе встроенного коаксиального кабеля при верхнем и нижнем по схеме положениях переключателя соответственно.

Все параметры полагаются постоянными, кроме параметров  $A, R$  и  $\varphi_R$  которые представляются полиномиальной или другой зависимостью от текущей частоты  $f$  или разности текущей и нижней частоты  $f_H$  диапазона, в котором проводятся измерения:

$$A = a_0 + a_1(f - f_i) + a_2(f - f_i)^2 + a_3(f - f_i)^3 + a_4(f - f_i)^4 + a_5(f - f_i)^5$$

$$R = r_0 + r_1(f - f_i) + r_2(f - f_i)^2 + r_3(f - f_i)^3 + r_4(f - f_i)^4 + r_5(f - f_i)^5$$
(2)

$$\varphi_R = \varphi_{R0} - \frac{2\pi \cdot f \cdot l_R}{c}$$

где  $c$  – скорость электромагнитной волны в вакууме;

остальные коэффициенты – параметры модели измерительного преобразователя.

При модуляции выражение для информационного сигнала второго детектора определяется разностью сигналов при разных положениях переключателя:

$$U_2 = |U_2^{(2)} - U_2^{(1)}|$$

Коэффициенты отражения  $\Gamma_R^{(1)}$  и  $\Gamma_R^{(2)}$  определяются следующими выражениями:

$$\Gamma_R^{(1)} = \left( S_{11}^{con} + \frac{S_{12}^{con} \cdot S_{21}^{con} \cdot \Gamma_x}{1 - S_{22}^{con} \cdot \Gamma_x} \right) \cdot e^{-\left( \alpha \cdot f + \frac{j4\pi \cdot f \cdot l_{cab}}{v_\phi} \right)}$$

$$\Gamma_R^{(2)} = \Gamma_{IN} \cdot e^{-\left( \alpha \cdot f + \frac{j4\pi \cdot f \cdot l_{cab}}{v_\phi} \right)}$$
(3)

где  $S_1^{con}$ ,  $S_2^{con}$ ,  $S_2^{con}$ ,  $S_2^{con}$  – S-параметры кабельного разъема на выходе измерительного преобразователя;  
 $\Gamma_x$ ,  $\Gamma_{IN}$  – соответственно комплексные коэффициенты отражения тестируемой и встроенной нагрузок;  
 $\alpha$ ,  $l_{cab}$ ,  $v_\phi$  – соответственно коэффициент затухания, длина встроенного коаксиального кабеля и фазовая скорость распространения в нем электромагнитной волны.

Параметры кабельного разъема представляются следующими моделями:

$$S_{11}^{con} = (X_{11} + j \cdot Y_{11}) \cdot e^{-\left( \alpha_{11}^A (f-f_H) + \alpha_{11}^B (f-f_H)^2 + j \frac{4\pi \cdot l_{11}^A \cdot f + l_{11}^B (f-f_H)^2}{c} \right)}$$

$$S_{12}^{con} = S_{21}^{con} = e^{-\left( \alpha_{12}^A + \alpha_{12}^B (f-f_H) + \alpha_{12}^C (f-f_H)^2 + j \frac{2\pi \cdot l_{12}^A \cdot f + l_{12}^B (f-f_H)^2}{c} \right)}$$

$$S_{22}^{con} = (X_{22} + j \cdot Y_{22}) \cdot e^{-\left( \alpha_{22}^A (f-f_H) + \alpha_{22}^B (f-f_H)^2 + j \frac{4\pi \cdot l_{22}^A \cdot f + l_{22}^B (f-f_H)^2}{c} \right)}$$
(4)

где  $X_{11}$ ,  $Y_{11}$ ,  $X_{22}$ ,  $Y_{22}$  – параметры, задающие начальные модуль и фазу;

$\alpha_{11}^A$ ,  $\alpha_{11}^B$ ,  $\alpha_{12}^A$ ,  $\alpha_{12}^B$ ,  $\alpha_{12}^C$ ,  $\alpha_{22}^A$ ,  $\alpha_{22}^B$  – параметры, учитывающие затухание сигнала в разъеме;

$l_{11}^A$ ,  $l_{11}^B$ ,  $l_{12}^A$ ,  $l_{12}^B$ ,  $l_{22}^A$ ,  $l_{22}^B$  – параметры, моделирующие эффективную длину разъема.

Для определения параметров модели измерительного преобразователя, входящих в выражения (1)–(4), выполняются 4 калибровочных измерения. Вместо тестируемой нагрузки поочередно подключаются известная мера короткого замыкания и неизвестная несогласованная нагрузка с модулем коэффициента отражения порядка 0,3 – непосредственно и через отрезок воздушной коаксиальной линии передачи известной длины (рис. 2).

Коэффициент отражения меры короткого замыкания описывается выражением:

$$\Gamma_{K3} = 0,998 \cdot e^{-j \frac{4\pi \cdot f \cdot l_{K3}}{c}}$$
(5)

где  $l_{K3}$  – известная длина меры.

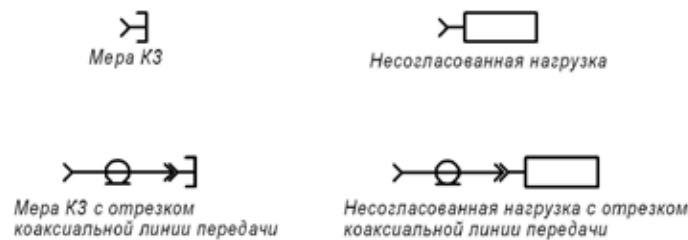


Рис. 2. Виды используемых калибровочных мер

Математические модели коэффициентов отражения встроенной ( $\Gamma_{IN}$ ), несогласованной калибровочной ( $\Gamma_{HC}$ ) и тестируемой ( $\Gamma_x$ ) нагрузок представляются моделями вида, аналогичного (5), с представлением модуля и аргумента либо частотно-независимыми, либо, например, полиномиальной зависимостью от частоты в пределах небольших частотных поддиапазонов (окон), на которые разделен анализируемый диапазон:

$$\Gamma_{IN} = \left( a_{IN0} + a_{IN1}(f-f_H) + a_{IN2}(f-f_H)^2 + \dots \right) \cdot e^{-j \frac{4\pi \cdot f \cdot l_{IN1} + l_{IN2}(f-f_H)^2 + \dots}{c}}$$

$$\Gamma_{HC} = (a_{HC0} + a_{HC1}(f - f_H) + a_{HC2}(f - f_H)^2 + \dots) \cdot e^{-j \frac{4\pi * f \cdot l_{HC1} + l_{HC2}(f - f_H)^2 + \dots}{c}}$$

$$\Gamma_x = (a_{x0} + a_{x1}(f - f_H) + a_{x2}(f - f_H)^2 + \dots) \cdot e^{-j \frac{4\pi * f \cdot l_{x1} + l_{x2}(f - f_H)^2 + \dots}{c}}$$

Параметры измерительного преобразователя при калибровочных измерениях определяются идентификацией в пространстве параметров измерительного преобразователя и неизвестной несогласованной калибровочной нагрузки. Аналогично определяются параметры тестируемой нагрузки при фиксированных на этапе калибровки параметрах измерительного преобразователя. Идентификация выполняется в частотных окнах [4] посредством минимизации целевых функции вида:

$$F_{goal} = \left| \frac{U_2^{изм}}{U_1^{изм}} - \frac{U_2}{U_1} \right| \longrightarrow \min, \quad (6)$$

где  $U_1^{изм}$  и  $U_2^{изм}$  — измеренные информационные сигналы.

Для каждого из четырех калибровочных измерений в выражение для  $\Gamma_R^{(1)}$  в (3) вместо  $\Gamma_x$  подставляются соответственно  $\Gamma_{IN}$ ,  $\Gamma_{HC}$ , и  $\Gamma_{IN} \cdot e^{-\left(\alpha_{coax} f + j \frac{4\pi * f \cdot l_{coax}}{c}\right)}$ ,  $\Gamma_{HC} \cdot e^{-\left(\alpha_{coax} f + j \frac{4\pi * f \cdot l_{coax}}{c}\right)}$  — при подключении короткозамкнутой и несогласованной нагрузок через отрезок воздушной коаксиальной линии передачи ( $\alpha_{coax}$  и  $l_{coax}$  — соответственно известные коэффициент затухания и физическая длина отрезка).

Калибровка и измерения проводятся во всех частотных окнах, на которые разделен анализируемый диапазон частот. Ширина частотных окон определяется адекватностью в его пределах моделей измерительного преобразователя и тестируемого резистивного компонента. Как правило, модель резистивного компонента предполагает медленную зависимость волновых параметров рассеяния от частоты, и ширина окон выбирается равной приблизительно 100 МГц. Для обеспечения корректной калибровки длина встроенного в измерительный преобразователь коаксиального кабеля должна обеспечивать не менее одного периода функций (3) в пределах частотного окна. Использование более сложных моделей измерительных преобразователей и испытуемых объектов для расширения частотных окон увеличивает количество искомых параметров и время выполнения математической обработки. Предварительные результаты математического моделирования, показали потенциально высокие точности измерительной системы при относительной её простоте.

#### Литература:

1. Кудрявцев А.М. Зондовые измерительные преобразователи для анализа элементов коаксиального тракта. / А.М. Кудрявцев, А.Б. Куликов, С.М. Никулин // Датчики и системы. — 2009, — №8, С. 33–36.
2. Налькин М.Е. Анализ СВЧ цепей с амплитудным и гомодинным детектированием сигналов / М.Е. Налькин, С.М. Никулин, М.В. Пугин, В.П. Хиллов // Датчики и системы. — 2003, — №7, С. 13–17.
3. Кудрявцев А.М. Анализаторы цепей с зондовыми измерительными преобразователями. / А.М. Кудрявцев, А.Б. Куликов, С.М. Никулин // Измерительная техника. — 2009, — №9, С. 46–49.
4. Кудрявцев А.М. Интеллектуальный анализ СВЧ цепей и антенн / А.М. Кудрявцев, С.М. Никулин. Учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ, 2005, 123 с.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*



## 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

### Системные решения автоматизации современного здания

Сафонова Ю.А.<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент; Сафонов И.Д.<sup>2</sup>, начальник департамента инженерных систем

<sup>1</sup>Воронежский институт инновационных систем

<sup>2</sup>Научно-производственная фирма «Компьютерные сети»

**И**нтеллектуальное здание — здание, способное грамотно распределять ресурсы, снижать эксплуатационные затраты и обеспечивать понятный интерфейс контроля и управления. Инженерные системы такого здания способны обеспечить адаптацию к возможным изменениям в будущем [1, с. 38].

Необходимыми составляющими интеллектуального здания являются:

- управление с единого центра инженерными системами, аудио-, видеотехникой, домашним кинотеатром, мультимедиа;
- телеметрия — измерение, передача и удалённое слежение за системами;
- IP-мониторинг объекта — удалённое управление системами по сети;
- GSM-мониторинг — удалённое информирование об инцидентах в здании (квартире, офисе, объекте) и управление системами здания через телефон.

Традиционные решения инженерного оборудования здания представляют собой совокупность отдельных, не взаимодействующих между собой систем. Здание, в котором эти системы объединены в интегрированный комплекс и правильно организованы уже на этапе проектирования (с учетом возможных будущих изменений), имеет право называться интеллектуальным [2, с. 73].

Создание интеллектуального здания невозможно без АСУЗ — автоматизированной системы управления зданием (англ. Building Management System, BMS) [3]. АСУЗ предназначена для автоматизации инженерных систем жизнеобеспечения здания: отопление, вентиляция и кондиционирование, холодоснабжение, водоснабжения и канализация, электроснабжение и освещение. Основными целями внедрения АСУЗ являются повышение эффективности и качества работы систем жизнеобеспечения здания, сокращение расходов на обслуживающий персонал, сокращение энергозатрат на содержание и функционирование здания. Применение АСУЗ позволяет достичь снижения, в %: эксплуатационных расходов — до 30; платежей за электроэнергию — до 20; платежей за воду — до 41; платежей за тепло — до 25. Кроме того, обеспечивается согласованная работа всех инженерных систем здания; организация сетевой структуры управления, высокий уровень управления ре-

сурсами, улучшения условий труда и повышение производительности.

Система управления зданием имеет трехуровневую структуру, в которой можно выделить следующие иерархические уровни [5, с. 110].

1. Уровень локального управления.
2. Уровень автоматизации.
3. Уровень управления информацией и администрирования системы.

На уровне локального управления располагаются первичные датчики, обеспечивающие сбор информации о системе; модульные устройства и контроллеры, позволяющие непосредственно обеспечивать управление локальными системами нижнего уровня; устройства интеграции, осуществляющие передачу информации о работе локального оборудования в сеть. Ядром уровня локального управления являются расширяемые цифровые контроллеры, которые предназначены для управления бойлерными станциями, агрегатами для кондиционирования воздуха или распределенными системами освещения. Контроллеры подсоединяются к АСУЗ через шину и обеспечивают обмен информацией между исполнительными устройствами инженерных систем здания и центральной станцией диспетчера.

Уровень автоматизации оснащается цифровыми контроллерами, обеспечивающими как автоматическое управление группами локальных систем, так и передачу данных о работе этих систем на вышестоящий уровень сети. Центральным звеном этого уровня являются сетевые процессоры, в функции которых входит управление и обработка информации, обеспечение связи между верхними уровнями сети и локальными системами. Сетевые процессоры обеспечивают централизованный мониторинг аварийных сигналов, сбор и запись данных о статистических трендах, времени работы оборудования и энергопотреблении элементов системы управления зданием. На уровне управления информацией и администрирования системы располагаются рабочие станции диспетчеров на базе ПЭВМ со специализированным программным обеспечением, на которых архивируется и анализируется работа всех систем здания в целом.

Для АСУЗ разработан комплекс международных стандартов BUILDING AUTOMATION AND CONTROL SYS-

TEMS ISO 16484-XX. В России к 2007 адаптированы первые части данного стандарта в виде комплекса стандарта АВОК Автоматизированные Системы Управления Зданиями.

Важным отличием интеллектуального здания является наличие такой системы как информационная, основное назначение которой — передача данных от локальных систем управления инженерным системам на пульт оператора и обратно. При создании «интеллектуального здания» следует учитывать, что информационная система существует не столько в материальном воплощении, сколько в виртуальной информационной области. Характер и вид отображаемой информации на экране монитора диспетчера зависит от требований заказчика. Поэтому именно он должен сформулировать, какую информацию и в каком виде следует выводить на монитор, какие данные необходимо архивировать, определить реакции системы на аварийные ситуации. При проектировании информационной системы здания целесообразно использовать открытые протоколы.

Системные решения и оборудование для систем автоматизации зданий представлены многими производителями: Crestron, AMX, ABB, GIRA, SIEMENS, Schneider-Electric, MARMITEK и др. [1, с. 41]. В настоящее время широкое распространение в области управления зданиями получили следующие стандарты (табл. 1).

BACnet (Building Automation and Control network) — сетевой протокол для автоматизации зданий и сетей управления, разработан Американским обществом инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE), открытый стандарт. BACnet-устройствами являются контроллер, датчик, исполнительный механизм [4, с. 16].

EIB (European Installation Bus) — европейская инсталляционная шина, предназначена для автоматизации жилых и офисных помещений, представляет собой децентрализованную систему событийного управления с последовательной передачей данных управления, контроля и сигнализации эксплуатационно-технических функций. Подключенные к шине EIB абоненты могут

Таблица 1

Сравнительная характеристика стандартов

Наименование	Передающие среды	Способ передачи	Программное обеспечение	Полоса частот	Скорость передачи
BACnet	витая пара, силовая линия, радиоканал, ИК канал	BACnet, MS/TP	BACtalk for Windows	Н/д	1 Мбит/с
EIB	витая пара, силовая линия, сеть EIB, радиоканал, ИК канал	CSMA/CA	Специализированное ПО ETS	100—120 kHz	9600 байт/с (витая пара), 1200/2400 бит/с (силовая линия), 10 Мбит/с (сеть EIB)
LonWork	витая пара, радиоканал, ИК канал, силовая линия, коаксиальный кабель, оптический кабель	CMSA, LonTalk	язык Neuron С для специализированного сигнального процессора NeuronChip	100—450 kHz	10 кбит/с
CeBus		CeBus, CSMA/CDCR (на канальном уровне)	Язык приложений CAL (Common Application Language)	100—450 kHz	10 кбит/с
X10	Витая пара, беспроводные каналы	X 10	Activehome, совместимое с Windows	310 MHz, 433 MHz	60 бит/с
RS-485	Витая пара	ModBus, Profi Bus DP, DMX 512	Н/д	Н/д	500, 1000 кбит/с, 2400 кбит/с — 100 м (2 витых пары), 10000 кбит/с — 10 м.
Industrial Ethernet	Витая пара, гибкие кабели, устройства беспроводной сети	CSMA/CD	Н/д	16—800 MHz	10 Мбит/с, 100 Мбит/с, 1 Гбит/с
LanDrive	Витая пара	ModBus/RTU	LanDrive Configurator	Н/д	38400 бит/с
Примечание: Н/д — нет данных.					

обмениваться информацией через общий канал передачи.

LonWork (разработан компанией Echelon Corporation, США) — полевая шина для автоматизации зданий, основан на концепции реализации систем управления при помощи «распределенного интеллекта» — управляющей сети (Local Operating Networks) LON, которая имеет минимальное количество уровней иерархии и в которой нет выраженного центрального устройства.

CeBus — создана компанией Intellon. Сигналы передаются по технологии Speed Spectrum — система сама понимает, где помехи, а где данные, сигнал является шумоподобным. Предусматривается одноранговая модель взаимодействия, при которой любой узел имеет свободный доступ к сети.

X10 — разработана в 1975 г. корпорацией X-10 с ориентацией на задачи дистанционного управления светильниками и простейшими бытовыми приборами.

RS-485 (Recommended Standard 485, EIA-485, от англ. Electronic Industries Alliance) — разработан совместно двумя ассоциациями: Ассоциацией электронной промышленности (EIA) и Ассоциацией промышленности средств связи TIA (Telecommunications Industry Association). Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов. Стандарт RS-485 оговаривает только электрические характеристики, физический уровень.

Промышленный Ethernet (Industrial Ethernet) используется для обмена данными между программируемыми

контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса, реже для обмена данными между контроллерами и для подключения к контроллерам удаленного оборудования (датчиков, исполнительных устройств). Широко используется при автоматизации зданий и в областях, не требующих высокой надежности.

LanDrive (разработчик INSYTE Electronics, г. Пермь) — российская платформа «умного дома», для построения шинных распределенных систем управления. Состоит из центрального контроллера и исполнительных механизмов, связанных между собой сетью. К исполнительным механизмам подключается управляемое оборудование. LanDrive ориентирована на использование в системах учета и сбережения энергоресурсов.

Существует большое количество стандартов по управлению жилыми комплексами. Основная их часть, такие как BACnet, LanDrive предназначены для инсталляции во вновь строящееся здание. Другие, такие как CeBus имеют ограничение в использовании, т.к. незначительное число производителей поддерживает этот стандарт, а X10 — отличается низкой скоростью и ненадежностью. Поэтому для создания современной информационной системы управления в здании необходимо использование стандартов Industrial Ethernet, RS-485, EIB или LonWork на физическом уровне, а программную платформу применять от производителей устанавливаемого оборудования (Crestron, AMX, SIEMENS, Schneider-Electric, ABB и др.).

#### Литература:

1. Муравьев, В.В. Интеллектуальные здания и новейшие технологии инженерного обеспечения и автоматизации при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений [Текст] / В.В. Муравьев, А.В. Фрейдман, А.А. Баранов // Энергосбережение. — 2005. — №5. — С. 38–43.
2. Фильчаков, А.В. Интеллектуальное здание: реальный миф [Текст] / А.В. Фильчаков // Компьютер-пресс. — 2006. — №1. — С. 72–73.
3. Интеллектуальное здание. Понятия и принципы [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — [http://ruswires.net/post\\_1186059197.html](http://ruswires.net/post_1186059197.html).
4. Дрынков, А.В. BACnet-решение для высотных многофункциональных зданий [Текст] / А.В. Дрынков // Интеллектуальное здание. — 2008. — №3. — С. 16–17.
5. Сычев, Ю.Б. Управление инженерными системами зданий [Текст] / Ю.Б. Сычев // Интеллектуальное здание. — 2008. — №3. — С. 110–111.

## 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

### Управление электроустановками с применением зависимой выдержки времени

Черемисин В.Т., доктор технических наук, профессор; Бренков С.Н., аспирант  
Омский государственный университет путей сообщения

Перед совершением любого действия в некоторой электрической системе (далее системе) всегда встает вопрос о его целесообразности. Действие может быть направлено на повышение надежности, производительности, снижение затрат, но все это в результате должно быть количественно оценено в денежном эквиваленте.

В основу предлагаемого закона управления действием с зависимой выдержкой времени положена идея равенства затрат и экономии при изменении в системе.

Предположим, что у нас есть система, состоящая из нескольких электроустановок, при этом каждая из них может быть выведена из нее, а затем введена снова. Система принимает некоторый входной сигнал, обрабатывает его и выдает конечный результат. При этом работа электроустановок системы вызывает определенные потери. Соответственно, в зависимости от внешних сигналов их оптимальное число (с точки зрения потерь в системе) должно постоянно меняться, то есть количеством электроустановок целесообразно управлять.

Допустим, система находится в таких условиях, когда необходимо управление только одной установкой, которая может быть либо введена в систему, либо выведена из нее. Если экономия, связанная с изменением ее положения, превышает затраты, вызванные этой переменной, то смена положения считается целесообразным. В противном случае желательно все оставить без изменения. Экономия и затраты, связанные с изменениями не являются только постоянными значениями. Так как они связаны с процессами в системе, то следует полагать, что они имеют некую зависимость от времени.

В электроэнергетике, наиболее распространенным случаем является линейная зависимость затрат и экономии от времени  $t$ , при этом выражение равенства затрат и экономии запишется в виде:

$$3_1(\vec{N})t + 3_0 = \mathcal{E}_1(\vec{N})t + \mathcal{E}_0. \quad (1)$$

где  $3_1(\vec{N})$ ,  $\mathcal{E}_1(\vec{N})$  — коэффициенты затрат и экономии при аргументе времени, руб./с;

$3_0$ ,  $\mathcal{E}_0$  — свободные составляющие затрат и экономии не зависящие от времени, руб.

Коэффициенты затрат и экономии — это переменные величины, зависящие от внешних сигналов (вектор  $\vec{N}$ ). В каждый момент времени они различны, причем в большинстве случаев их значение есть случайная величина.

При таких обстоятельствах работа с ними целесообразна на том интервале времени  $\Delta t$ , когда они считаются постоянными, так как постоянство во времени внешних сигналов приводит к постоянным значениям коэффициентов  $3_1$  и  $\mathcal{E}_1$ .

В практике обработки, анализа и прогнозирования показателей процессов считается допустимым непрерывные функции заменять ступенчатыми (рисунок 1). При этом в идеале длительность ступени должна стремиться к нулю.

Таким образом, для расчета коэффициентов затрат и экономии необходимо непрерывный случайный график показателей процесса преобразовать в ступенчатый с некоторым интервалом  $\Delta t$ . Для этого необходимо знать значение вектора показателей процесса при каждом измерении  $\vec{N}_i$  и длительность ступени  $\Delta t$ .

На практике значение вектора  $\vec{N}_i$  считывается и преобразовывается доступными измерительными системами. Длительность ступени  $\Delta t$  должна быть такой, чтобы погрешность между значениями показателей процесса, получаемая при переходе от непрерывного графика к ступенчатому, была не больше допустимого значения. При выборе  $\Delta t$  необходимо сравнивать инерционность процессов в системе и производительность систем измерения и обработки сигналов.

Современные системы измерения и обработки сигналов обладают достаточной производительностью, чтобы проводить измерения и их обработку за десятки микросекунд. Однако в столь частых измерениях для установившихся режимов нет необходимости, поэтому наиболее приемлемым является определение длительности ступени на основе инерционности процессов в системе при помощи статистической обработки экспериментальных замеров.

При управлении установкой электрической системы, основанном на равенстве затрат и экономии, необходимо ввести очень важный показатель — время равенства, которое в каждый момент измерения показывает, на протяжении какого времени при неизменных показателях, влияющих на коэффициенты затрат и экономии, общие затраты будут равны экономии. В соответствии с выражением (1) данная величина определяется по выражению

$$t_p = \frac{3_0 - \mathcal{E}_0}{\mathcal{E}_1(\vec{N}) - 3_1(\vec{N})}. \quad (2)$$

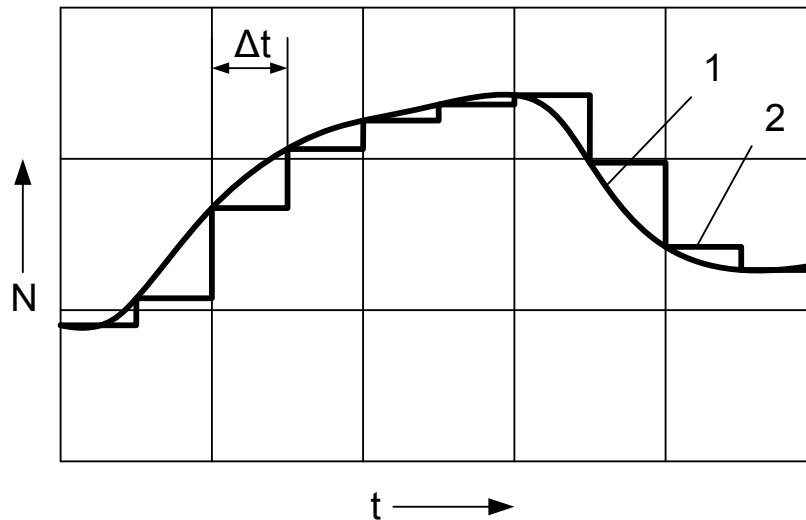


Рис. 1. Непрерывный (1) и ступенчатый (2) графики процесса

Данное время для каждого интервала измерения  $\Delta t_i$  будет различным, так как за счет изменения показателей работы системы  $\bar{N}$ , изменяются соответствующие значения коэффициентов  $З_1, Э_1$ . Отсюда следует, что время  $t_p$  представляет собой функцию от показателей работы системы  $\bar{N}$ .

В зависимости от того включена электроустановка или отключена коэффициенты затрат и экономии будут отличаться. Тогда  $t_p$  для ее включения —

$$t_{p\text{вкл}} = \frac{З_{0\text{вкл}} - Э_{0\text{вкл}}}{Э_{1\text{вкл}}(\bar{N}) - З_{1\text{вкл}}(\bar{N})}; \quad (3)$$

для отключения —

$$t_{p\text{откл}} = \frac{З_{0\text{откл}} - Э_{0\text{откл}}}{Э_{1\text{откл}}(\bar{N}) - З_{1\text{откл}}(\bar{N})}. \quad (4)$$

Время  $t_p$  представляет собой величину, по анализу которой принимается решение об изменении положения электроустановки. Если значение времени равенства  $t_p$  больше нуля, то изменение ее состояния целесообразно. В противном случае — изменений не требуется.

При положительном значении  $t_p$  показывает время, через которое необходимо вводить установку в систему или выводить из нее в зависимости от его исходного состояния.

Данный способ управления построен на предположении, что по истечении времени  $t_p$  ровно на столько же в дальнейшем вектор  $\bar{N}$  сохранит свое значение. Это считается справедливым, так как при малом значении  $t_p$  вероятность того, что вектор  $\bar{N}$  сохранит свое значение довольно большое. При большом его значении, с большой вероятностью, можно положить, что в последующих измерениях оно изменится.

В процессе управления системой довольно часто бывает так, что время равенства для измерения в некоторый момент  $t_{p_i}$  больше, чем  $\Delta t$ . В этом случае выдержка вре-

мени накапливается и при следующем измерении сравнивается уже с  $t_{p_{i+1}}$ . Если  $t_{p_{i+1}} > 0$ , но меньше уже отсчитанного времени  $\Delta t$ , то подается команда на изменение состояния системы. В противном случае отсчет времени продолжается дальше до достижения такого значения  $t_{p_{i+n}}$ , когда оно становится меньше значения  $n\Delta t$  (где  $n$  — число последовательных интервалов измерения, когда  $t_{p_i} > 0$ ). Так продолжается до тех пор, пока электроустановка не сменит своё положение или  $t_{p_{i+n}}$  примет отрицательное значение, что приведет к сбросу отсчитанного времени.

В процессе работы системы по различным причинам возможны колебания ее показателей, и могут возникнуть случаи, когда спустя необходимую выдержку времени, установка меняет свое положение и сразу же формируются условия, требующие ее возврата в исходное.

Для исключения подобных случаев в процессе измерения показателей работы системы предлагается формировать статистический материал, характеризующий поведение системы. Результаты статистической обработки выражаются в виде добавочных коэффициентов к расчету выдержки времени, которые представляют собой отношение вероятностей возникновения условий для включения  $R_{\text{вкл}}$  и отключения  $R_{\text{откл}}$  установки.  $R_{\text{вкл}}$  и  $R_{\text{откл}}$  представляют полную группу событий и определяются выражениями

$$R_{\text{вкл}} = \frac{m_1 + m_2}{M}, \quad (5)$$

$$R_{\text{откл}} = \frac{m_3 + m_4}{M}; \quad (6)$$

где  $m_1$  — число измерений, когда при выведенном элементе расчетная выдержка времени принимает положительное значение;

$m_2$  — число измерений, когда при введенном элементе расчетная выдержка времени принимает отрицательное значение;

$m_3$  — число измерений, когда при выведенном элементе расчетная выдержка времени принимает отрицательное значение;

$m_4$  — число измерений, когда при введенном элементе расчетная выдержка времени принимает положительное значение;

$M$  — общее число измерений.

Для наглядности величины  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  представлены в виде табл. 1

Таблица 1

Пояснения к числу измерений,  
входящих в выражения (5) и (6)

Состояние электроустановки	Число измерений, когда значение $t_p$	
	больше нуля	меньше нуля
отключена	$m_1$	$m_3$
включена	$m_4$	$m_2$

Исходя из сказанного, окончательные выражения для расчета выдержки времени на включение  $t_{вкл}$  и отклю-

чение  $t_{откл}$  электроустановки примут в вид:

$$t_{вкл} = \frac{Z_{0вкл} - \bar{Z}_{0вкл}}{\bar{Z}_{1вкл} - Z_{1вкл}(\bar{N})} \cdot \frac{P_{откл}}{P_{вкл}}. \quad (7)$$

$$t_{откл} = \frac{Z_{0откл} - \bar{Z}_{0откл}}{\bar{Z}_{1откл} - Z_{1откл}(\bar{N})} \cdot \frac{P_{вкл}}{P_{откл}}. \quad (8)$$

Применяя на практике описанный способ, получается управление системой на основе зависимой выдержки времени, когда в каждое последующее измерение показателей работы системы, установка по времени (время равенства) изменяется в зависимости от их значений и статистической вероятности условий для включения или отключения электроустановки. Кроме того, составляющие затрат и экономии выбираются на основе технико-экономического анализа, что обеспечивает соответствующий управленческим интересам режим работы системы.

#### Литература:

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. Издательство «Наука», 1969 г. 576 с.
2. Новицкий П.В., Зограф П.А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. Л. Энергоатомиздат, 1991 г. 304 с.
3. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Л. «Энергия», 1971 г. 264 с.
4. Бренков С.Н. Управление устройствами поперечной емкостной компенсации электрифицированных железных дорог с зависимой выдержкой времени. // Известия Транссиба. / ОмГУПС. Омск, №1 (5) 2011 г.



## 5. ЭНЕРГЕТИКА

### Влияние основных факторов на показатели структурной и балансовой надежности электроэнергетической системы

Афанасьев В.В., соискатель; директор по развитию технологий диспетчерского управления  
Филиал ОАО «СО ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Юга»  
Северо-Кавказский государственный технический университет

В России под надежностью ЭЭС долгое время понималась надежность электроснабжения конкретного потребителя [1–3], учитываемая в процессе проектирования, строительства и дальнейшего развития системы. В последнее время в связи с участвовавшими авариями в ЭЭС, спроектированными с учетом надежности электроснабжения [4], все чаще встает вопрос оценки надежности самой ЭЭС, в том числе с использованием критерия  $n-1$ . Одной из основных причин лавинообразных отказов в ЭЭС, вероятно, является невыполнение критерия  $n-1$  [5].

Целью настоящей работы является установление основных факторов, оказывающих влияние на уровень надежности электроэнергетической системы, расчет структурной и балансовой надежности с учетом этих факторов, а также с применением критерия  $n-1$ .

В настоящее время методы оценки надежности электроснабжения и надежности ЭЭС достаточно проработаны. Надежность ЭЭС принято разделять на структурную и функциональную, которая в свою очередь подразделяется на балансовую и режимную [6].

К факторам, влияющим как на надежность электроснабжения, так и надежность ЭЭС, относятся: время эксплуатации используемого оборудования ЭЭС; внешние (погодные) условия и человеческий фактор, который включает в себя качество используемого оборудования ЭЭС, проводимых диспетчерских, профилактических и ремонтных работ, действия третьих лиц.

Общепринятыми в международной практике основными показателями надежности являются: вероятность безотказной работы, время восстановления, вероятность потери нагрузки — *Lost Of Load Probability (LOLP)* [7].

Проведенный анализ статистических данных, полученных из журнала технологических нарушений (ТН) по Ставропольской ЭЭС, показал, что надежность электроэнергетической системы в основном определяется отказами линий электропередач и генерирующих мощностей, так как по этой причине наблюдается наибольшее время простоя оборудования в аварийном ремонте. По этим данным были определены коэффициенты готовности линий электропередач и блоков генерирующих мощностей, которые находятся в пределах 0,99–0,999.

Первым фактором по длительности восстановления, влияющим на надежность ЭЭС, является износ технологического оборудования ЛЭП и ГРЭС; вторым — погодные условия, которые оказывают значительное влияние на ЛЭП; и третьим — человеческий фактор.

Для определения надежности электроснабжения наиболее значимых узлов ЭЭС проведен расчет структурной надежности, при этом учитывались только линии и подстанции напряжением 330 кВ. Расчеты проводились для случаев: работоспособны все линии и отказ одной из линий. Надежность рассчитывалась как вероятность нарушения связи между генерирующими мощностями, расположенными на СтГРЭС и НевГРЭС, и узлом ЭЭС. Малые ГЭС и ГЭС кубанского каскада не учитывались при расчете структурной надежности как генерирующие мощности, так как суммарная мощность данных станций в сравнении с СтГРЭС и НевГРЭС незначительна и используется в основном для покрытия пиковых нагрузок.

При расчете структурной надежности использовался метод на основе пространства состояний [8]. Для ограничения количества состояний предполагалось, что вероятность отказа одновременно более чем 4 линий равна нулю. Коэффициент готовности линий принят равным 0.99 и включает в себя надежность оборудования подстанций, связанного с линией (трансформаторы тока, конденсаторы связи, выключатели и т.д.). Коэффициенты готовности узлов приняты за единицу, так как по статистическим данным отказы подстанций происходят значительно реже отказов линий.

Результаты расчета структурной надежности показывают, что при всех работоспособных линиях 330 кВ структурная надежность любого из потребителей (узлов) находится в пределах 0.9996–1.0000, что является достаточно хорошим показателем, при котором нарушение электроснабжения потребителя составляет не более 3,5 часов в год. Однако при отказе некоторых линий 330 кВ структурная надежность может значительно уменьшаться — до 0.9701, что соответствует общей длительности перерывов в электроснабжении 261.9 часов в год. Вследствие того, что при расчетах не учитывались линии 110 кВ, вероят-

ность безотказной работы оказывается несколько заниженной.

Расчет структурной надежности позволяет определять надежность электроснабжения узлов, но не учитывает вероятность недостатка генерируемой мощности для покрытия нагрузки потребителей. Учет данного обстоятельства возможен при расчете балансовой надежности, которая характеризуется показателями: средний недоотпуск электроэнергии и вероятность потери нагрузки (*LOLP*).

Для расчета балансовой надежности используется метод потери нагрузки в результате возникновения дефицита мощности [8]. При этом использованы следующие упрощения: коэффициент готовности всех энергоблоков принят равным 0.996. Блоки ТГ-1 — ТГ-5 на НевГРЭС объединены в один блок мощностью 210 МВт для уменьшения числа состояний модели генерирующей части Ставропольской ЭЭС.

Для анализа балансовой надежности использовалась модель представления нагрузки ЭЭС на основе данных о суточных максимумах потребления.

Результаты расчета балансовой надежности показывают, что при работе генерирующих мощностей только на покрытие нагрузки потребителей Ставропольской ЭЭС вероятность потери нагрузки *LOLP* составляет величину порядка  $10^{-15}$ . Данная величина не учитывает передачу мощности в другие региональные ЭЭС. Для расчета балансовой надежности с учетом передачи мощности в другие ЭЭС необходимо воспользоваться графиком суммарной мощности, производимой на СтГРЭС и НевГРЭС. В этом случае вероятность потери нагрузки *LOLP* составляет 0.00075, что соответствует времени перерыва в электроснабжении нагрузки 7 часов в год.

Следует отметить, что для оценки надежности ЭЭС необходимо выполнять проверку по критерию п-1 [9, 4]. Этот критерий отражает возможности функционирования ЭЭС при отказе одного из значимых ее элементов, например линии или генератора. Параметры режима при этом не должны выходить за допустимые пределы. Данный критерий является детерминистическим и определяется моделированием режима ЭЭС при одном отключенном элементе. Если применить критерий п-1 к расчету структурной надежности, то можно говорить о его выполнении.

При использовании критерия п-1 для расчета балансовой надежности принимаем, что отказал один из генерирующих блоков наибольшей мощности 300 МВт. В

этом случае максимальная генерируемая мощность на СтГРЭС и НевГРЭС составит 3380 МВт, при том, что максимум нагрузки составляет 3415 МВт, что говорит о невыполнении критерия п-1 для рассматриваемой схемы, при этом вероятность потери нагрузки *LOLP*=0.00729, что соответствует времени перерыва в электроснабжении потребителей 64 часа в год. Покрытие недостатка мощности может осуществляться каскадом кубанских ГЭС с суммарной установленной мощностью 462.4 МВт.

Анализ структурной надежности исследуемой ЭЭС на основе статистических данных о технологических нарушениях показал, что в целом, схема сети 330 кВ обладает высокой надежностью: вероятность безотказной работы (электроснабжения) составляет 0.9996—1.0000 при всей работающих линиях. Исследования структурной надежности при условии отказа одной из линий, позволили определить области в схеме ЭЭС, в которых надежность претерпевает значительное снижение. Полученные результаты могут быть использованы при учете последующих отказов в системе, возникающих до момента восстановления работоспособности первой отказавшей линии.

Основным фактором, оказывающим влияние на интенсивность отказов и время восстановления в системе, является продолжительность эксплуатации технологического оборудования. Таким образом, вероятность возникновения одновременных (множественных) отказов с течением времени возрастает.

Анализ структурной надежности не позволяет учесть вероятность недостатка генерируемой мощности для покрытия нагрузки потребителей, поэтому была проведена оценка балансовой надежности исследуемой ЭЭС. Выявлено, что показатель балансовой надежности *LOLP*=0.00075 находится на достаточно высоком уровне в настоящее время. Однако, учитывая то, что средняя нагрузка исследуемой ЭЭС в период с 2006 по 2010 год возрастала приблизительно на 2% в год и часть вырабатываемой мощности передается в другие ЭЭС, нагрузка которых так же увеличивается, показатели балансовой надежности будут снижаться с течением времени.

Таким образом, результаты оценки режимной надежности с применением критерия п-1 и расчеты структурной и балансовой надежности, с учетом факторов и событий, оказывающих влияние на надежность ЭЭС, должны использоваться как при эксплуатации ЭЭС, так и при перспективном планировании ее развития.

#### Литература:

1. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. — 2-е изд., доп. и перераб. — М: Энергоатомиздат, 1984. — 200 с.
2. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. — М.: Наука, 1986. — 252 с.
3. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 208 с.
4. Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем / Манов Н.А., Хохлов М.В., Чукарев Ю.Я. [и др.] / под ред. Н.А. Манова. — Сыктывкар.: изд-во Коми научного центра УрО РАН, 2010. — 292 с.
5. Operation handbook. — USTE, 2006. Режим доступа: <http://www.uste.org> (дата обращения: 01.02.2011).

6. Стандарт организации РАО ЕЭС России СТО 17330282.27.010.001–2008 Электроэнергетика. Термины и определения.
7. Биллингтон Р., Алан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / пер. с англ./ под ред. Ю.А. Фокина. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.
8. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах / пер. с англ./ под ред. Ю.Н. Руденко. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 336 с.
9. Бондаренко А.Ф., Герих В.П. О трактовке критерия надежности N-1 // Электрические станции. — 2005. — №6. — С. 40–43.

## Сравнительный анализ существующих методов определения повреждения тяговой сети

Дынькин Б.Е., доктор технических наук, профессор; Завражин В.В., преподаватель  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

В настоящее время известно несколько методов определения расстояния до места повреждения. Одни из них основаны на определении распределения полных или реактивных сопротивлений, другие на определении токораспределения в тяговой сети. Все из представленных методов являются дистанционными, т.е. измерение расстояния до места повреждения происходит при помощи аппаратуры установленной на тяговой подстанции или на диспетчерском пункте. Рассмотрим наиболее распространенные их существующих методов, [1, 2].

На рисунке 1 представлена классификация существующих методов ОМП.

Критерием оценки методов ОМП является точность измерения расстояния до места повреждения, при изменении параметров тяговой сети, и воздействии случайных факторов.

Как показали расчеты, первый метод ОМП (рисунок 2), основанный на определении полного сопротивления петли КЗ, имеет очень большие погрешности. На точность измерения расстояния до места повреждения оказывают влияние следующие факторы:

- изменение поперечной проводимости рельсы-земля;
- переходное сопротивление в месте повреждения;
- изменение проводимости земли;

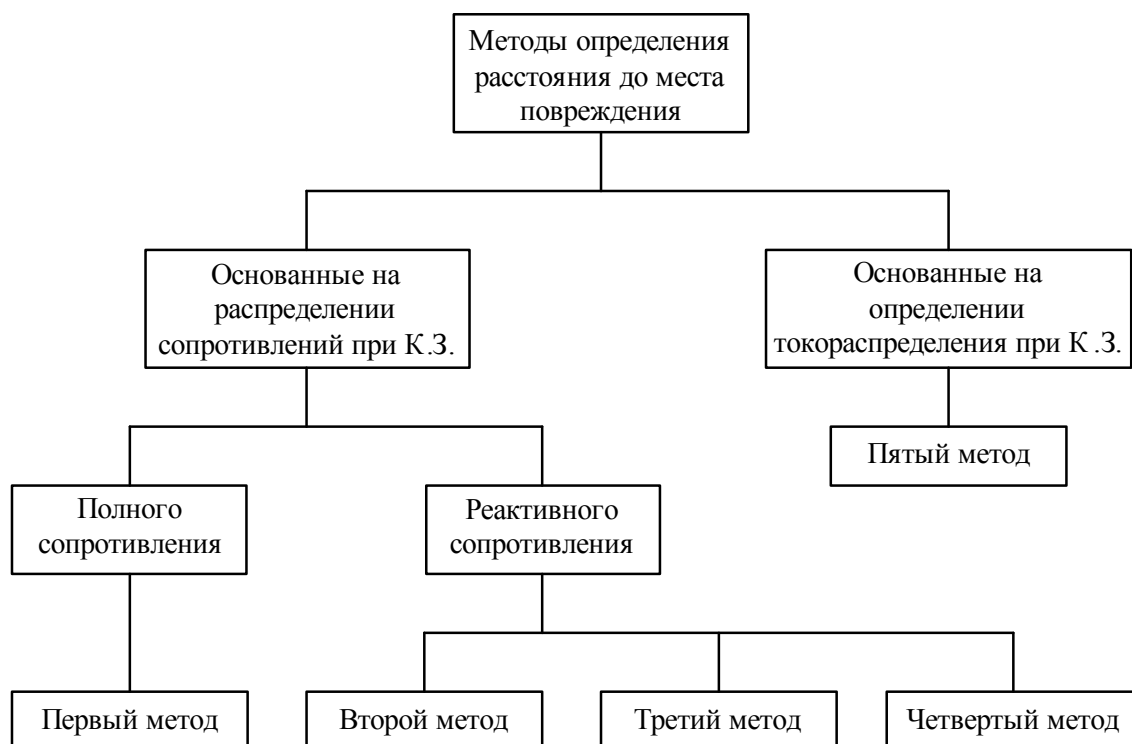


Рис. 1. Классификация существующих методов ОМП

- расстояние до места КЗ;
- шунтирующее влияние ЭПС;
- взаимная индуктивность контактных подвесок соседних путей.

Погрешность, вносимая вышеперечисленными факторами, на однопутном участке составляет до 32 %. А на двухпутном участке, из-за отсутствия учета тока в подвеске соседнего пути, погрешность достигает 92 %, [3]. Достаточно точные показания будут только при консольном питании точки КЗ и отсутствии переходного сопротивления в месте повреждения. Такие огромные погрешности не позволяют эффективно использовать аппаратуру ОМП, основанную на первом методе, как на однопутных, так и на двухпутных участках железных дорог переменного тока.

Второй метод ОМП основан на определении реактивной составляющей сопротивления петли КЗ, (рисунок 2). По сравнению с первым методом, использование только реактивной составляющей сопротивления КЗ позволяет значительно увеличить точность измерения расстояния до места повреждения, как на однопутном, так и на двухпутном участке.

Значительно снижается влияние переходного сопротивления в месте повреждения на точность измерений. Однако во втором методе не учитывается изменение погонного реактивного сопротивления тяговой сети в связи с изменением поперечной проводимости рельсы-земля и расстояния до места повреждения. Так же значительную погрешность вносит остаточная нагрузка на фидерной зоне. Из-за этого на однопутном участке погрешность второго метода достигает 13 %.

На двухпутном участке, как и в первом методе, дополнительную погрешность вносит сопротивление взаимной индукции соседних путей. Значение этого сопротивления

неодинаково по длине фидерной зоны. По этой причине погрешность второго метода на двухпутном участке достигает 90 %, [3].

Исходя из вышесказанного, применение аппаратуры ОМП, основанной на втором методе, на двухпутных участках железных дорог нецелесообразно. Возможно применение такой аппаратуры на однопутных участках, на которых отсутствует интенсивное тяжеловесное движение. Предполагается, что на таких участках погрешность, вносимая остаточной нагрузкой, не будет превышать 5 %.

Третий метод ОМП, как и второй, основан на определении реактивной составляющей сопротивления петли КЗ, (рисунок 3). В устройство ОМП, вместо тока ввода 27,5 кВ, подаются значения токов поврежденного и смежного путей. А благодаря коэффициенту взаимного комплексного сопротивления ( $K$ ) учитывается влияние взаимной индукции контактных подвесок соседних путей.

Сложность адаптации устройства ОМП, основанного на третьем методе, к условиям определенного участка заключается в необходимости проведения двух опытов КЗ, в свою очередь необходимых для определения коэффициента  $K$ . Этот факт осложняет установку такого устройства ОМП на грузонапряженные участки.

Погрешность третьего метода вызвана, как и во втором методе, отсутствием учета изменения проводимости земли, поперечной проводимости переходного слоя рельсы-земля. Так же на точность измерений большое влияние оказывает значение переходного сопротивления в месте КЗ и величины остаточной нагрузки на межподстанционной зоне. В связи с этим аппаратура ОМП, основанная на третьем методе, не получила широкого распространения на участках железных дорог переменного тока.

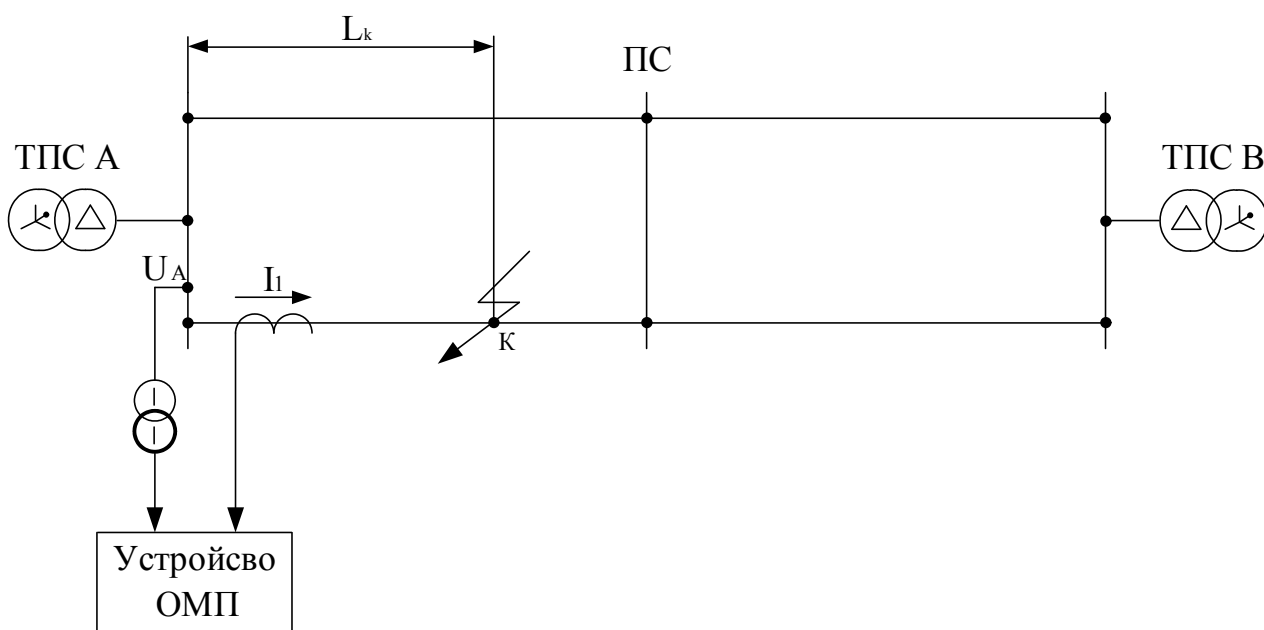


Рис. 2. Схема измерения расстояния до места повреждения на двухпутном участке первым и вторым методами

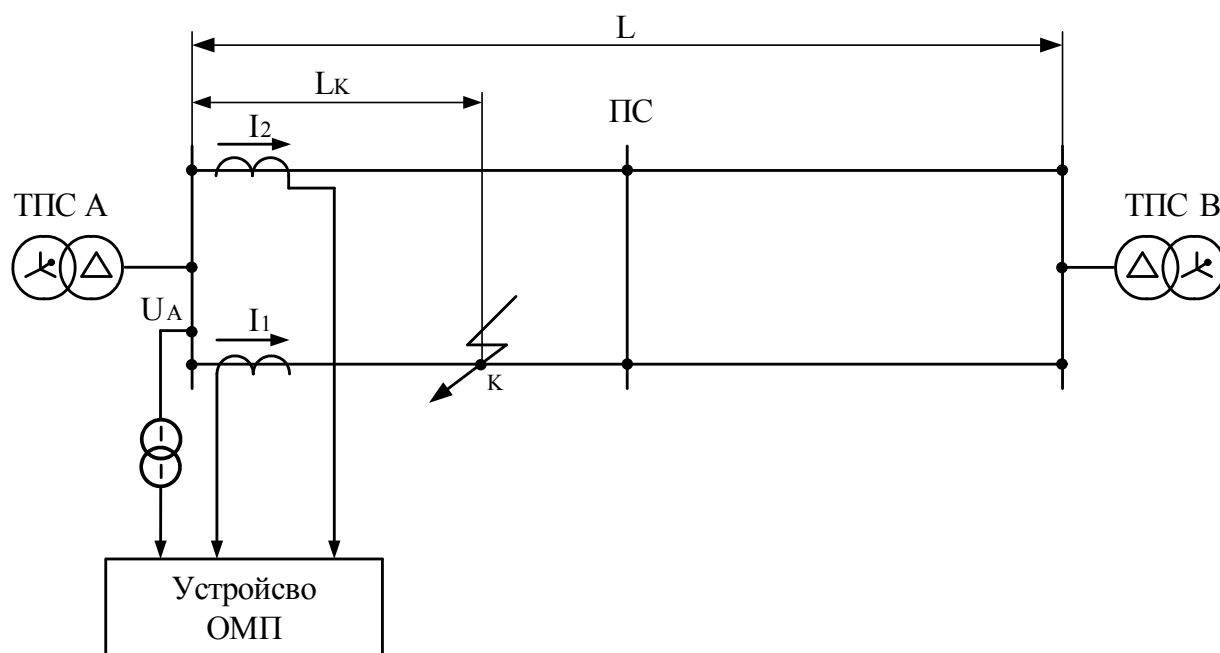


Рис. 3. Схема измерения расстояния до места повреждения третьим методом

Четвертый метод ОМП имеет некоторые сходства с третьим методом, (рисунок 4).

Это сходство заключается в использовании только реактивной составляющей петли КЗ и в учете сопротивления взаимоиндукции контактных подвесок соседних путей. При определении расстояния до места повреждения можно учесть изменение проводимости земли, поперечной проводимости переходного слоя рельсы-земля и удаленности места КЗ путем изменения уставки  $v_A$ .

Это позволяет значительно повысить точность измерений. Однако, как и во всех методах, основанных на определении распределения сопротивлений при КЗ, отсутствует учет влияния на точность измерений переходного сопротивления в месте КЗ и остаточной нагрузки на зоне. В связи с этим погрешность может достичь величины равной 30%, [3].

Как показали расчеты, пятый метод ОМП, основанный на определении токораспределения в тяговой сети, имеет

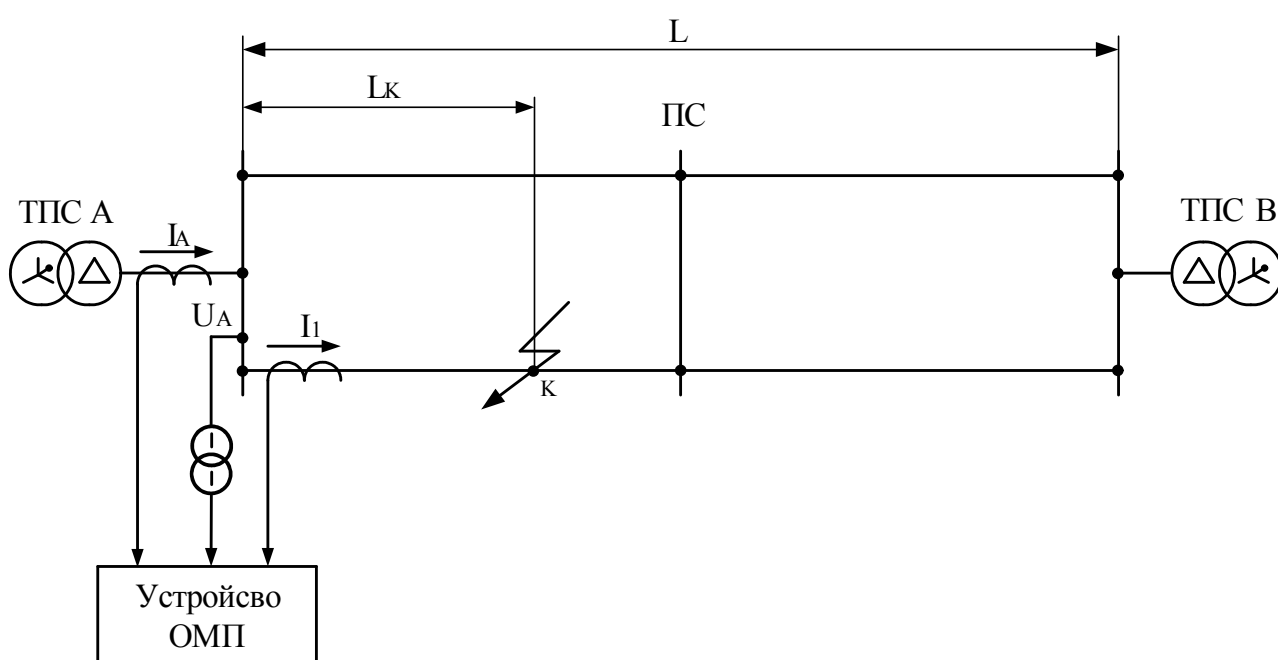


Рис. 4. Схема измерения расстояния до места повреждения четвертым методом

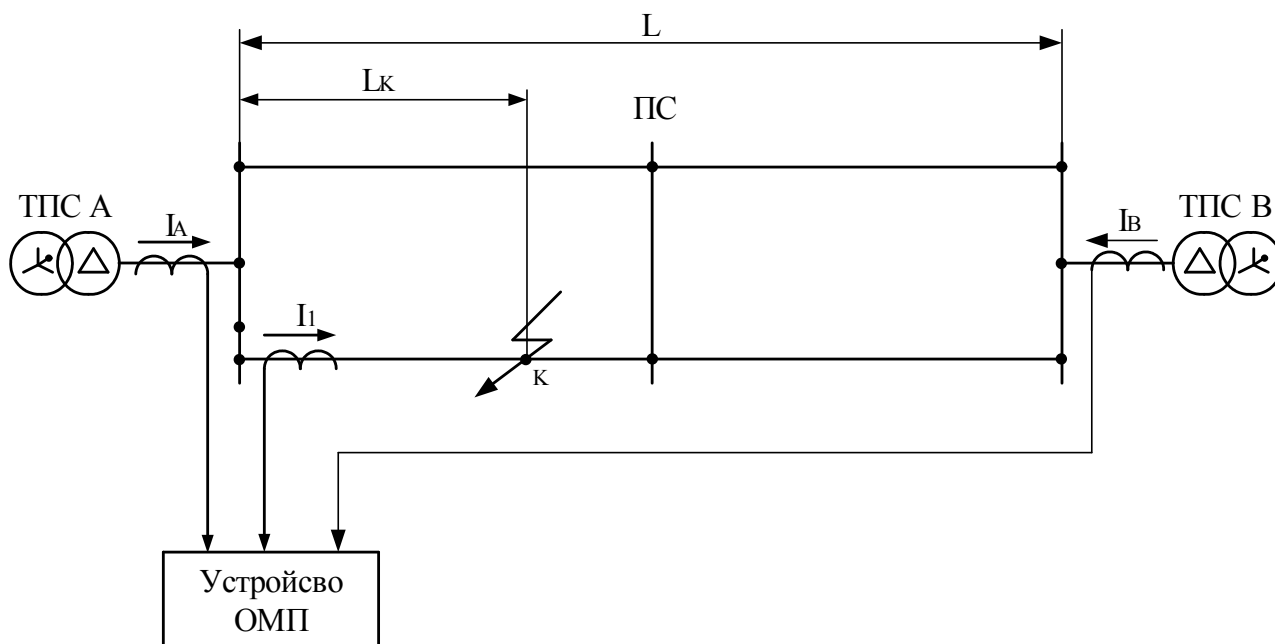


Рис. 5. Схема измерения расстояния до места повреждения пятым методом

наибольшую точность для узловой схемы питания контактной сети, среди всех методов ОМП, представленных в данной статье, (рисунок 5).

Это связано с тем, что на точность определения расстояния до места повреждения пятым методом не оказывает влияние нестабильная величина удельного сопротивления тяговой сети и переходного сопротивления в месте КЗ. Этот факт положительно сказывается на возможности широкого применения пятого метода ОМП для раз-

работки новой аппаратуры ОМП для двухпутных участков железных дорог переменного тока с автоматическим секционированием контактной сети, [4].

Сложность применения данного метода заключается в необходимости передачи параметров аварийного режима со смежной ТПС. Как показали расчеты, при изменении схемы питания двухпутного участка, применение аппаратуры ОМП, основанной на пятом методе, не представляется возможным.

#### Литература:

1. Карякин, Р.Н. Методика расчета сопротивлений тяговых сетей переменного тока / Р.Н. Карякин — М.: Трансжелдориздат, 1962. — 37 с.
2. Фигурнов, Е.П. Релейная защита сетей тягового электроснабжения переменного тока: учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / Е.П. Фигурнов, Ю.И. Жарков, Т.Е. Петрова; под ред. Е.П. Фигурнова. — М.: Маршрут, 2006. — 272 с.
3. Быкадоров, А.Л. Методика исследования погрешностей в методах определения мест повреждения в тяговой сети 27,5 кВ / А.Л. Быкадоров, И.П. Петров // Повышение эффективности и надежности систем электроснабжения: межвуз. сб. науч. тр. / ДВГУПС. — Хабаровск, 1999. — С. 23–30.
4. Самсонов, Ю.Я. Расчет токораспределения и определение сопротивлений в контактных сетях переменного тока при коротких замыканиях / Ю.Я. Самсонов // Вопросы релейной защиты устройств электрических железных дорог. тр. РИИЖТ, вып.60. — М.: Транспорт, 1966. — С. 84–88.



## Исследование целесообразности использования автономных систем теплоснабжения на Севере

Иванов В.А., аспирант

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН

**П**одбор наиболее эффективных и целесообразных систем теплоснабжения среди централизованных, децентрализованных или другими словами — местных, а также автономных систем осуществляется и по сей день. Каждая отопительная система имеет свою область применения, зависящую в особенности от специфических условий климата России. Особенно актуален сейчас вопрос выбора отопительной системы в связи с государственным стимулированием развития малоэтажного строительства в РФ.

Основное назначение любой системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты требуемого качества. Теплоснабжение населенных пунктов имеет важное значение для жизнедеятельности человека особенно в условиях холодного климата Республики Саха (Якутия).

Развитие систем теплоснабжения в РС (Я) может быть достигнута за счет повышения надежности и эффективности централизованных систем при одновременном широком применении автономных систем теплоснабжения. Она включает: создание автономных источников генерации теплоты; снижение потерь при доставке теплоты потребителю; повышение КПД действующего котельного оборудования.

Рынок строительных материалов и оборудования растет с каждым годом. Одной из весомых статей затрат при строительстве индивидуального дома является теплотехническое оборудование. Параллельно с этим приходится наблюдать неуклонное возрастание цен на энергоносители вообще и на природный газ в частности. Это заставляет владельцев жилья уделять все больше внимания эффективности отопления своих домов и стараться всячески уменьшить расход топлива как во вновь строящихся, так и в уже существующих системах отопления.

Применение автономных отопительных систем наиболее эффективно в малоэтажном загородном строительстве, данная система заключается в том, что каждое строение имеет свою собственную систему генерации и подачи тепла. Последнее время автономное отопление все чаще используется в многоквартирном отоплении. Обе отопительные системы имеют свои преимущества и недостатки, свои области применения, однако технологический уровень практически один. В итоге качество оборудования и его техническое совершенство во многом определяет основные критерии системы: эффективность, надежность и безопасность.

- Эффективность автономной системы определяется выбором наиболее подходящего котельного оборудования; определением расчетной мощности тепло-

генератора в зависимости от климатических условий и теплотехнических характеристик отапливаемого помещения; от стоимостных показателей оборудования; проектно-монтажных работ отопительной системы и самой эксплуатации автономной системы теплоснабжения.

- Максимальная конструктивная простота котельного оборудования во многом определяет ее надежность, т.е. увеличивается вероятность безотказной работы. А отсутствие длинных тепловых сетей значительно повышает надежность системы при правильной эксплуатации.

- Автоматизированные средства регулирования и управления процессами функционирования автономной системы определяют ее безопасность во время эксплуатации, которые прогнозируют и предотвращают возможные аварийные ситуации.

При проектировании здания энергоэффективность достигается за счет теплозащиты сооружаемого здания, объемно-планировочных решений здания, выбора тех или иных систем теплоснабжения и способов регулирования и автоматизации. Требуемая энергоэффективность может быть достигнута за счет баланса уровня теплозащиты, объемно планировочных решений и эффективности самой системы теплоснабжения.

В качестве главного потребительского требования с общегосударственной (или региональной) точки зрения необходимо установить нормативы по удельному расходу энергии на отопление зданий за отопительный период в местах первичного потребления топливных ресурсов (например, по расходу газа в котельных). Таким образом, при нахождении уровня теплозащиты рассматривается вся цепочка от первичного преобразования топлива в тепловую энергию, теплотери при транспортировке теплоты потребителю и преобразование ее в низко потенциальные параметры в тепловых пунктах и эффективности систем отопления.

ИФТПС ЯФ СО РАН СССР в 1987 г. была разработана «Нормирование расхода теплоты и топлива на отопление и горячее водоснабжение зданий в Якутской АССР». [1]. Нормы 1987 года были разработаны, с целью уточнения и совершенствования норм расхода топлива на отопление жилых и общественных зданий в Якутской АССР.

Но в связи с климатическими условиями Крайнего Севера эти нормы были скорректированы с учетом произошедших изменений в структуре жилищно-коммунального сектора и перехода страны от планового ведения хозяйствования к рыночным взаимоотношениям между производителями и потребителями теплоты и на основании положений Федерального Закона РФ «Об энергосбережении» и Закона РС (Я) «Об энергосбережении и эф-

фективности использования энергии». В них отражены требования по уровню теплозащиты зданий и контроля за ее качеством.

Что касается учета эффективности систем теплоснабжения, энергетическая эффективность системы теплоснабжения здания формируется показателями эффективности добычи, транспортировки, сжигания топлива, распределения и регулирования тепловой энергии.

Практически повсеместно в России применяется нормативная система оплаты жителями тепловой энергии. Это относится как к отоплению, так и горячему водоснабжению.

Муниципалитеты совместно с представительными органами власти устанавливают единые нормативы по отоплению, поэтому потребитель приходится оплачивать услуги по отоплению без связи с объемом реально потребленного тепла.

В этой ситуации единственным способом «обратной связи» для потребителя по качеству отопления являются жалобы в жилищно-эксплуатационные предприятия. Единые, уравнивающие платежи полностью устраняют какие-либо стимулы к энергосбережению, не говоря уже о поощрении инвестиций в модернизацию зданий и систем отопления с целью повышения энергоэффективности.

В качестве основы для выставления счетов чаще всего используется расчетное значение, так как «ближайший» теплосчетчик находится в лучшем случае на центральном тепловом пункте, обслуживающем группу зданий централизованного теплоснабжения, или источнике теплоснабжения. Иногда в качестве исходного прибора, определяющего количество отпущенного (потребленного) тепла, используется газовый счетчик котельной.

Выходом из сложившейся ситуации может стать установка автономных теплогенераторов для отопления малых застроек, не имеющих возможности подключения к центральному отоплению. Основные преимущества применения автономного теплоснабжения от централизованного теплоснабжения:

1. Основными приборами учета при автономном отоплении являются: счетчик холодной воды, счетчик газа, электросчетчик. За счет этого снижается оплата за отопление и горячее водоснабжение, которая напрямую зависит от кубометров потребленного газа и воды;

2. Потребитель сам заинтересован в экономии газа, воды и энергосбережении дома;

3. За счет высокого коэффициента полезного действия и минимальных потерь при транспортировке тепла, автономное отопление является высокоэкономичным;

4. Повышается уровень комфорта в помещениях. Потребитель получает возможность самостоятельно определять температуру и уровень использования теплоты и горячей воды. При этом снимается проблема перебоев с подачей горячей воды и теплоты по техническим, организационным и сезонным причинам;

5. Снижается стоимость коммунальных услуг за отопление и горячего водоснабжения. За счет резкого снижения потерь в тепловых сетях и бесконечных затрат на их ремонт, уменьшается годовое потребление газа;

6. Удешевляется жилищное строительство, так как отпадает необходимость в дорогостоящих теплосетях, тепловых пунктах, приборах учета;

7. Обеспечивается возможность замены трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и отопительных приборов в отдельных квартирах при перепланировке или аварийных ситуациях без нарушения режима эксплуатации систем отопления в других квартирах;

8. Как бы ни говорили об экологической вредности таких систем, все равно они вряд ли превысят выбросы систем централизованного отопления, кроме того, полностью исключат такие явления, как парящие зимой газоны, разрытую землю, отходы утеплителей.

Таким образом, технический уровень современного оборудования по выработке, транспорта и распределения теплоты позволяет создавать энергоэффективные автономные системы теплоснабжения в отдаленных, изолированных северных территориях России, где применение автономного теплоисточника становится все более популярной при нестабильном централизованном теплоснабжении.

Сегодня владельцами индивидуальных домов предъявляются все более высокие требования к экономичности систем отопления, их способности обеспечить комфортную температуру в помещениях, удобству в пользовании, поэтому установка автономного теплоисточника обеспечивает независимость потребителя от центрального отопления.

#### Литература:

1. Нормирование расхода тепла и топлива на отопление и горячее водоснабжение зданий в Якутской АССР. — Якутск: Госкомиздат ЯАССР, 1987. — 110 с.
2. Манов Н.А. Управление электроэнергетическими системами — новые технологии и рынок. Сыктывкар, 2004. — 298 с.
3. Хаванов П.А. Автономная система теплоснабжения — альтернатива или шаг назад? АВОК № 1/2004.
4. Кара-Мурза С.Г., Телегин С.А. Царь-Холод. — М.: Эксмо, 2004. — 384 с.
5. Материалы IX Международного симпозиума по развитию холодных регионов. Якутск, 1–5 июня 2010. — 276 с.
6. Кузьмин А.Н., Михеева Е.Ю. Малая энергетика Севера Якутии: проблемы и перспективы развития. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. — 160 с.

## 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

### Лабораторные исследования процесса обжига медного сульфидного концентрата и выщелачивания обожженного продукта

Жумашев К.Ж., доктор технических наук; Каримова Л.М., кандидат химических наук;  
Кайралапов Е.Т., научный сотрудник

Переработке бедных забалансовых сульфидных руд посвящено множество исследований, сущность которых сводится к выщелачиванию исходной руды различными методами, поскольку получение концентрата из них считается нерентабельным. Наряду с этим известны подходы, предусматривающие стадии получения концентратов и их переработку пирометаллургическими, гидрометаллургическими или комбинированными методами.

Процесс плавки требует получения богатых концентратов по целевому металлу, что связано с его большими потерями на стадии обогащения. Гидрометаллургические методы требуют сильных окислителей [1–3], которые являются дорогими и дефицитными, что также существенно повышает себестоимость продукции. В связи с этим авторами данной работы уделено внимание развитию компромиссного направления и представлены результаты лабораторных исследований по комбинированной схеме «сульфатизирующий обжиг-выщелачивание».

В качестве исследуемого материала использовали черновой медный флотоконцентрат, химический состав которого приведен в таблице 1.

Шихту окатывали водой в грануляторе, имеющем чашу диаметром 0,4 м. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Насыпная масса гранул 1 г/см<sup>3</sup>. Гра-

нулы сушили и определяли статическую прочность (таблица 2, где  $d$  — диаметр гранул).

Как следует из данных таблицы, высушенные гранулы имеют достаточную прочность для обжига в печи тем более в слое небольшой высоты с навеской 15, 5 г. Учитывая диаметр гранул, высоту слоя и насыпную массу гранул, найдем прочность гранул:

$$d^2 h \gamma = P,$$

где:  $P$  — прочность, г/окатыш;  $\gamma$  — насыпная масса, г/см<sup>3</sup>.

Тогда допустимая высота слоя  $h_{\text{доп.}}$  для средних значений составит:

$$h_{\text{доп.}} = \frac{P}{d^2 \gamma} = 12,64 \text{ м.}$$

Обжиг вели в вертикально установленной трубчатой электропечи. Вначале печь нагревалась до определенной температуры, которая поддерживалась с помощью реле, соединенного с термпарой, вторичным прибором и регулятором напряжения в цепи нагревательных элементов печи. Затем навеску гранул в корзине, изготовленной из нихромовой проволоки, помещали вовнутрь печи, предварительно нагретой до заданной температуры. Снизу в печь вдували воздух, расход которого контролировали с помощью ротаметра. По окончании опыта гранулы извлекали из печи, охлаждали и выполняли необходимые замеры (таблица 3).

Таблица 1

Содержание основных компонентов в концентрате, %

Cu, %	S, %	Fe	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
8,0	5,50	3,65	12,14	1,82	1,37

Таблица 2

Статическая прочность подсушенных гранул концентрата

d, мм	8,8	7,2	7,7	8,4	7,3	Среднее, г
Прочность, г/окатышу	720	770	750	800	750	750

Таблица 3

Статическая прочность обожженных гранул при температуре 600°C

d, мм	8,8	7,2	7,7	8,4	7,3	Среднее, г
Прочность, г/окатышу	3400	3300	3350	3150	3100	3260

Обожженные гранулы имеют статическую прочность, примерно в четыре раза больше, чем исходные высушенные.

Последовательно изучено влияние различных факторов — температуры обжига ( $t$ , от 400 до 750°C), продолжительности ( $t$ , от 0 до 120 мин), расхода воздуха, вдуваемого в зону реагирования ( $V$ , от 10 до 100 см<sup>3</sup>/с), диаметра гранул ( $d$ , от 2 до 12 мм). Были построены точечные графики частных зависимостей степени выхода газообразных продуктов, отнесенные к количеству серы в концентрате, извлечения меди в раствор из огарка, содержания меди в кеке, данные по которым приведены на рисунках 1–3.

Как видно из рисунка 1 в интервале температур 550–700°C степень газообразования остается практически постоянной. Выше 700°C начинается диссоциация сульфатов, что приводит к повышению перехода серы в газ, поэтому этот интервал является недопустимым.

Результаты изучения влияния размера гранул на степень перехода серы в газовую фазу дают информацию о тенденции снижения выхода газовой серы по мере увеличения диаметра окатышей, что объяснимо в связи с за-

труднениями удаления серы из более крупных гранул. Это положительный эффект с точки зрения сульфатизирующего обжига, однако чрезмерное увеличение диаметра гранул приводит к затруднению процесса обжига за счет затруднений в подводе кислорода к центру гранул.

Выщелачивание огарка с содержанием 8% Cu, 3,65% Fe, проводили при условиях Ж:Т=4:1, температуре 60°C и продолжительности опыта 120 минут. Изучение проводили при перемешивании магнитной мешалкой в термостатированной ячейке раствором серной кислоты с концентрацией 120 г/л. Графики частных зависимостей по извлечению меди в раствор и содержанию меди в кеке приведены на рисунках 2, 3 соответственно.

Таким образом, исследовано влияние различных факторов на процесс обжига и на извлечение меди. Установлено, что достаточно высокую степень извлечения меди можно достичь при условиях:  $t$  — 550–700°C, — 20–60 мин.,  $d$  — 8–12 мм.,  $V$  — 20–100 см<sup>3</sup>/с. Выход кека при этих условиях составляет 75%. В указанных пределах значения диаметра гранул и скорости подачи воздуха не значимы, т.е. не оказывают влияния на степень обжига концентрата и извлечения меди в раствор.

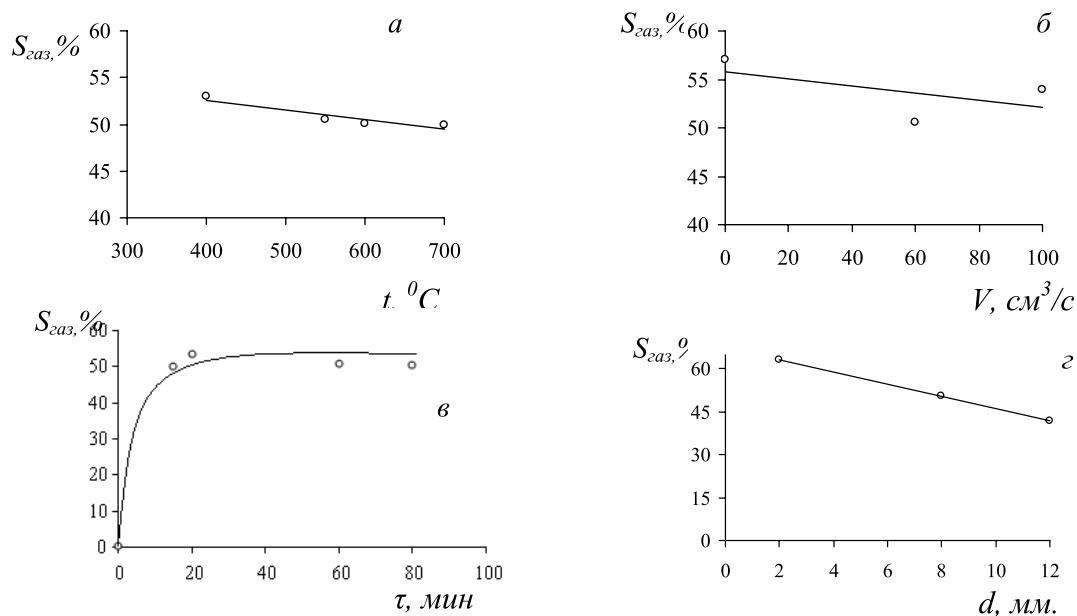


Рис. 1. Зависимость перехода серы в газ от заданных факторов

Точки — экспериментальные данные; линии — аппроксимирующая функция;  $S_{газ}, \%$  — переход серы в газ, а — влияние температуры,  $t, ^\circ C$ ; б — расхода вдуваемого воздуха,  $V, \text{см}^3/\text{с}$ ; в — продолжительности обжига,  $t, \text{мин}$ ; г — крупности гранул,  $d, \text{мм}$

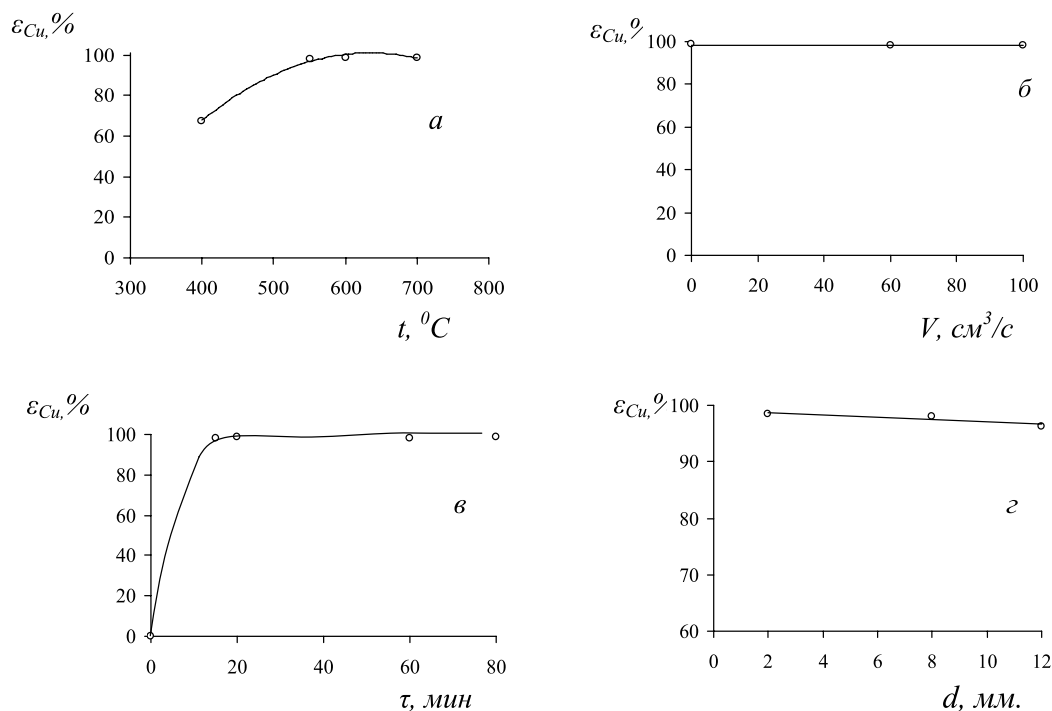


Рис. 2. Зависимость извлечения меди в раствор из огарка от заданных факторов

Точки – экспериментальные данные; линии – аппроксимирующая функция;  $\varepsilon_{Cu}, \%$  – извлечение меди в раствор, а – влияние температуры обжига,  $t, ^\circ C$ ; б – расхода вдуваемого воздуха,  $V, \text{cm}^3/\text{s}$ ; в – продолжительности,  $t, \text{min}$ ; г – крупности гранул,  $d, \text{mm}$ .

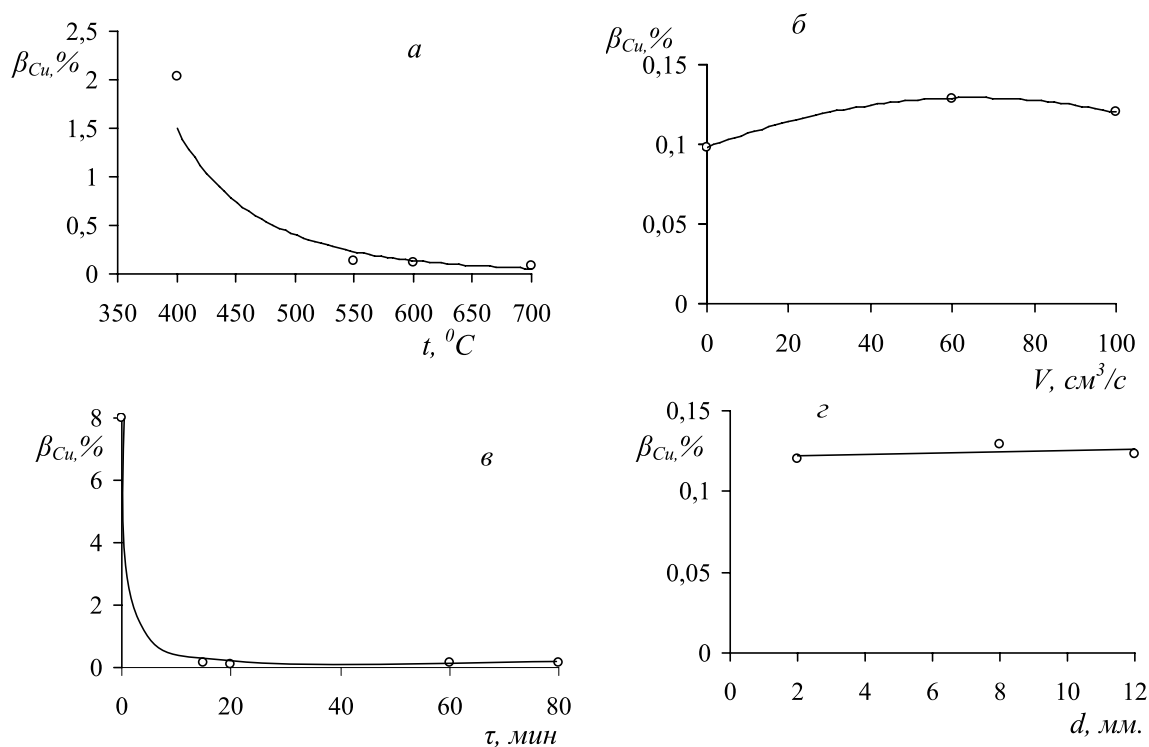


Рис. 3. Зависимость влияния факторов на остаточное содержание меди в кеке после выщелачивания огарка

Точки – экспериментальные данные; линии – аппроксимирующая функция;

$\beta_{Cu}, \%$  – содержание меди в кеке, а – влияние температуры обжига,  $t, ^\circ C$ ;

б – расхода вдуваемого воздуха,  $V, \text{cm}^3/\text{s}$ ; в – продолжительности,  $t, \text{min}$ ;

г – крупности гранул,  $d, \text{mm}$

*Литература:*

1. Шурыгин Ю.А., Халезов Б.Д. Исследование выщелачивания забалансовых окисленных и смешанных руд Кальмакырского месторождения//Цветные металлы, 1974.-№5. — С. 68–71.
2. Иванов В.И., Степанов Б.А., Применение микробиологических методов в обогащении и гидрометаллургии. — М. — 1960. — С. 23–28.
3. Жумашев К.Ж., Токбулатов Т.Е., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т. Кинетические особенности выщелачивания меди из забалансовых руд Жезказганского месторождения// Комплексное использование минерального сырья. — 2010. — №5 (272). — С. 35–42.



## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

### Плотность почвы как один из критериев глубины ее обработки в условиях Туркменистана

Данатаров А., кандидат технических наук, докторант; Ашыров С.Ч., ст. преподаватель  
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашхабад)

*На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны оптимальные параметры аэрационного дренажа и глубокорыхлителя. Обоснована технология нарезки аэрационного дренажа и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем, которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы используемого оборудования при наименьших затратах. Техничко-экономические расчёты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить расходы по эксплуатации техники до 30%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почв в условиях аридной зоны и повысить урожайность хлопчатника до 10 ц/га.*

*On the basis of theoretical and experimental researches optimum parameters of drainage aeration and chisel plow are developed. The technology of cutting drainage aeration and loosening of subsurface by means of chisel plow which allows to improve work agrotechnical indicators used equipment at the least expenses is proved. Technical and economic calculations have shown, that cutting drainage aeration allows to reduce expenses on technics operation up to 30%, to provide optimum of soils water-air regime in the conditions of arid zone and raise cotton productivity up to 10 centner/hectares.*

Земледелие — наука о наиболее рациональном, экологически и технологически обоснованном использовании земли, непрерывном повышении эффективного плодородия почвы для достижения более высокой урожайности сельскохозяйственных культур при наименьших затратах труда и средств на единицу продукции. Почвозащитная и ресурсосберегающая направленность интенсивного земледелия как условие и исходное положение для расширенного воспроизводства плодородия почвы.

Механическая обработка как фактор повышения плодородия и окультуривания пахотного слоя почвы, основное звено современных систем земледелия. Роль механической обработки почвы в изменении строения пахотного слоя, придании ему оптимальной плотности, улучшении структурных качеств, водного, воздушного, теплового режимов, активизации микробиологической деятельности.

Способов предотвращения уплотнения почв разработано пока еще недостаточно. В определенной мере к этому направлению может быть отнесена технология «нулевой» обработки почвы, а также предложения по внедрению машин на воздушной подушке и мостового земледелия. Однако для практического использования двух последних способов требуется проведение длительных НИОКР. На данном этапе развития науки и техники наиболее эффективный прием разуплотнения почвы — механическое рыхление на глубину 0,6–0,7 м с помощью глубокорыхлителей-щелевателей.

С целью углубления теоретических основ для создания и совершенствования орудий отмечена необходимость развития исследований в пределах системы «почва-рабочий орган-энергия».

Обзор и анализ существующих конструкции аэрационного дренажа свидетельствует об эффективности его применения на тяжелых почвах. Особенно положительное воздействие на качественный характер почвы оказывает аэрационный дренаж на староорошаемых землях, подверженным многократным проходам сельскохозяйственной техники, приводящей к образованию уплотненной подплужной зоны. Важно отметить, что в процессе нарезки аэрационного дренажа данной конструкции кротовины склонны к заилению за счет фильтрационного потока через щель, сформированную ножом рыхлителя-кротователя. Основным недостатком данных конструкции является формирование кротовин непосредственно под щелью, что весьма неэффективно из-за плохой устойчивости свода кротовин фильтрационному потоку. Кроме того, рабочие органы, применяемые для нарезки дрен, имеют большие тяговые усилия, в результате образования пластично-упругих деформаций грунта в нижней части ножа, о чем свидетельствуют также результаты исследований А.Н. Зеленина. В этой зоне грунт, вытесняемый рабочим органом, выдавливается в боковые стенки щели, не разрушая его к дневной поверхности. Критическая глубина резания рабочими органами данного типа определяет значительные тяговые усилия базовых машин. Поэтому нарезка аэраци-

онного дренажа в зоне орошаемого земледелия не нашла широкого применения.

Моделирование работы дренажа свидетельствует о том, что интенсивность поступления воды в дренаж определяется коэффициентом фильтрации и водоотдачи над-дренного слоя грунта, из которого происходит сброс гравитационной воды. Для удовлетворения изложенных требований нами были разработаны специальные, универсальные рыхлители-кротователи новой конструкции, защищенные авторским свидетельством №1751263. Для рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры рыхлителя-кротователя.

Устройство для нарезки аэрационного дренажа состоит из вертикального ножа-дренера. Дренер включает два жестко соединенных между собой и параллельно установленных со скосами друг к другу усеченных цилиндра. Вертикальный нож выполнен в виде ступенчато установленных разрыхляющего и щелеобразующего зубьев к последнему шарнирно прикреплен дренер. Высокая эффективность этой агромелиоративного приема объясняется

повышением водопроницаемости и инфильтрационных свойств почвогрунтов вследствие улучшения водно-физических свойств почв. Объектом исследований служили малопродуктивные земли хлопкосеяния, на которых были отмечены процессы уплотнения подпахотных горизонтов, образование так называемой «плужной подошвы» и засоление почвы.

Технология нарезки аэрационного дренажа разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника, которая основана на разрыхлении подпахотных слоев и нарезке в монолите грунта перпендикулярно основному дренажу водоаккумулирующих кротовых спаренных дрен на глубину 500–600 мм и на расстояния 600–900 мм.

При этом значительно улучшается экологическая обстановка, сокращается поливная и промывная норма до 30%, предотвращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс вторичного засоления. Для осуществлений нарезки аэрационного дренажа разработана конструкции рабочего оборудования НАД-2–60, которая в 1990 году рекомендована к широкому внедрению в хозяйствах республики.

## Повышение эффективности обработки в условиях мелиоративного земледелия

Данатаров А., кандидат технических наук, докторант; Ашыров С.Ч., ст. преподаватель  
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашхабад)

## Increase of efficiency of processing in the conditions of meliorative agriculture

*The necessity of biological and biosphere comprehension of the processes taking place in the soil as a result of its cultivation is considered in the article. It is stated that for the process of ploughing by means of aeration drainage and ripping of compacted subsurface layer of soil, optimal parameters of aeration drainage and deep ripper have been duly tested and worked out. Technique of ploughing by means of aeration drainage and ripping of compacted subsurface layer of soil by deep ripper has been justified; which, in its turn, allows to enhance agrotechnical performance of agricultural implements with least expenditure of time and costs. Apart from this, environmental conditions are improved, rates of irrigation and washing of soil are reduced down to 30%, the ground-water level as well as process of salinization of soil are hampered and efficiently thwarted. Technical and economic studies have proved that ploughing of soil by means of aeration drainage promotes reduction of operating costs down to 30%, provides optimal water-air level of soil in arid zone and raises the level of crop capacity of cotton plant up to 10 quintals per hectare.*

В современных условиях самым распространенным способом создания благоприятных условий для произрастания культурных растений остается механическая обработка почвы. Повышения эффективности производства сельскохозяйственной продукции и обеспечение населения продуктами питания требует использования современных высокопроизводительных и экономичных сельскохозяйственных машин. В настоящее время особенно актуальны для сельскохозяйственного производства задачи энерго- и ресурсосбережения. Так на единицу конечной продукции в России расходуется в 5 раз больше энергии и в 4 раза больше металла, чем в США. Затраты

на основную обработку почвы составляют значительную долю (до 40%) в себестоимости сельскохозяйственной продукции и в основном определяют конкурентоспособность конечного продукта. Основная обработка почвы — наиболее энергоемкая и трудоемкая операция при возделывании сельскохозяйственных культур, является распространенным способом воздействия на почву с целью создания условий наиболее благоприятных для произрастания культурных растений. Основными направлениями совершенствования почвообрабатывающих орудий являются повышение качества обработки почвы и снижение затрат энергии и материалов на её проведение.

Одним из направлений совершенствования конструкций почвообрабатывающих орудий с целью снижения энергоёмкости и материалоемкости обработки почвы является оптимизация конструктивных параметров отдельных деталей с учетом реальных сил, действующих на них. При выполнении технологического процесса рабочие органы орудий для основной обработки почвы подвергаются силовому нагружению по величине значительно превышающему силовое нагружение рабочих органов других почвообрабатывающих орудий. Поэтому к прочности отдельных деталей рабочих органов орудий для основной обработки почвы предъявляются особые требования (В.А. Понуровский, 2007).

И.П. Макаров и А.С. Кушнарев в своих работах установили, что в уплотненных почвах после полива запас влаги в активном слое почвы на 250–300 м<sup>3</sup>/га ниже, чем на уплотненных. Следовательно, снижение объема аккумуляции влаги обеспечивает растение влагой лишь в течение 10 дней. Культура хлопчатника весьма тепло- и влаголюбивая. Академик И.П.Макаров и его сотрудники на достаточно высоком уровне изучали уплотненные и суглинистые, и глинистые почвы и установили негативные последствия для роста и развития сельскохозяйственных культур, которые сводятся к следующему: ухудшение проникновения воздуха и воды в почву; прекращение доступности минеральных удобрений; снижение процесса разложения растительных остатков; трехкратное увеличение плотности; слабое развитие корневой системы; а также высокая амплитуда колебаний температуры почвы, вследствие чего уменьшается биологическая активность почвы на всем протяжении вегетации сельскохозяйственных культур. Следовательно, охрана почв от вредного избыточного уплотнения имеет прямое отношение к важнейшей экологической проблеме.

Современное земледелие на такой огромной территории, как страны СНГ, нуждается в различных рабочих органах и орудиях как для основной, так и для поверхностной обработки почвы. Внедрение интенсивных технологий с использованием энергонасыщенных и тяжелых агрегатов увеличило уплотнение почвогрунтов и ускорило образование почвенной уплотненной подошвы. В числе важнейших показателей плодородия, таких, как глубина пахотного слоя, кислотность почвенной среды, запасы подвижных элементов питания, на первом месте стоит содержание в почве гумуса и свежего органического вещества, его качественное состояние. Для улучшения таких почв применяют рыхлители, щелеватели и кротователи. По данным Н.П.Юрченкова, глубокое рыхление дренированных тяжелых почвогрунтов в сочетании с внесением извести и удобрений разуплотняет подпахотные слои, повышает приточность к дренам, что способствует

аккумуляции продуктивной влаги, глубокому проникновению корневой системы растений.

Для удовлетворения изложенных требований нами были разработаны специальные, универсальные рыхлители-кротователи новой конструкции, защищенные авторским свидетельством №1751263.

Раскопки дрена позволили прийти к выводу, что в почвах с тяжелым механическим составом, основной приток к дренам происходил через наружные стенки, т.к. коэффициент фильтрации грунта в междренном пространстве был менее чем в монолите. Однако, благодаря наличию двух спаренных кротовин, интенсивность поступления воды в дрена была значительно больше чем в одиночные дрена. Следует отметить, что при данной конструкции аэрационного дренажа количество воды, отводимой дренажем по сравнению с притоком воды непосредственно через щель в дрена, уменьшилась и практически определялось фильтрационными способностями грунта. Благодаря такой конструкции аэрационного дренажа, схема притока воды к дренам значительно изменилась, что позволило снизить градиент напора, а следовательно, и предотвратить суффозионный вынос частиц грунта. В области земледелия разработаны: ресурсосберегающие приемы основной обработки на тяжелых почвах Туркменистана с использованием новых орудий для механической обработки почвы, позволяющие экономить 27,0 % дизельного топлива при полной ликвидации смыва почвы; эффективные ресурсосберегающие способы, обеспечивающие при сохранении высокой продуктивности хлопчатника экономию материально-технических ресурсов до 40% по сравнению с традиционным механическим. Полости дрена были весьма устойчивы.

Таким образом, в конструктивном плане рыхление-кротование вполне эффективно как агромелиоративный прием, улучшающий водно-физические свойства почвы на глубине 50–60 см в комбинации с материальным дренажем. Проводимость почвы находится в прямой связи с коэффициентом фильтрации и остаточной разрыхленностью почвы. Технология нарезки аэрационного дренажа разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника. Известно, что усилие резания грунта на докритической глубине на 20–25 % менее чем при закритической, т.е. используя данный эффект в конструкции ножа можем снизить тяговое усилие по сравнению со сплошным ножом. Техничко-экономические расчеты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, сократить поливную норму на 20%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 10 ц/га.

## Метод определения формы модификации зубчатых колес для повышения их нагрузочной способности

Дорофеев Д.В., аспирант

Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского (МАТИ) (г. Москва)

Авиационные зубчатые передачи являются одним из самых сложных узлов современных машин, как с точки зрения проектирования, так и с точки зрения технологии изготовления. Через зубчатые передачи проходит значительная часть вырабатываемой энергии [3].

В газотурбинных двигателях зубчатые передачи применяются для отбора мощности у газовой турбины, и распределения энергии по местам назначения.

В авиации основными областями применения зубчатых передач являются: привод винтов в турбовинтовых двигателях, привод вспомогательных агрегатов (насосы, генераторы), привод устройств (тахометры, суфлеры и т.п.) и передача движения от стартера к валу двигателя при его запуске [2].

Из всех авиационных цилиндрических передач 97% являются прямозубыми [2]. Это связано с тем, что в коробках приводов ГТД габариты зубчатых колес определяются габаритами агрегатов, что обуславливают малую ширину зубчатых венцов. В свою очередь малая ширина венцов исключает рациональное применение косозубого вида зацепления, так как преимущества последнего реализуются только при достаточно большой ширине зубчатого венца.

Для передачи больших мощностей при малой относительной массе в авиации используют прямозубые зубчатые передачи с повышенным коэффициентом перекрытия  $\varepsilon$ , в том числе  $\varepsilon > 2$ . Однако для такого типа зацепления при использовании строго эвольвентной геометрии, во время работы под нагрузкой возникают проблемы, связанные с обеспечением отсутствия заедания при входе и выходе из зацепления.

Стандартный исходный контур не обеспечивает зазор в первой точке контакта (рис. 1). Таким образом, если зубья расположены близко друг от друга, происходит удар, при входе зубьев в зацепление.

При высоких нагрузках происходит изгиб зубьев. Даже если точность высока, изгиб создает интерференцию в первой точке контакта (рис. 2). Причем **величина деформации зуба под действием изгибающей нагрузки может превышать точность изготовления зубчатого колеса**. При выходе зуба из зацепления у тяжело нагруженных зубьев происходит скачок контактных напряжений, по причине нарушения линии контакта зубьев [1].

Для устранения пиковых значений напряжений на отдельных участках профиля применяется модификация профиля.

Участки профиля, на которых возникают пики напряжений, определяются экспериментально или с помощью современных систем моделирования.

Переход от применяемых теоретически сопряженных эвольвентных зацеплений (без действующей нагрузки) к несопряженным (модифицированным) дает большой эксплуатационный и экономический эффект, поскольку позволяет уменьшить габариты и массу зубчатых колес.

Однако неправильное определение величины модификации на стадии проектирования является наиболее часто встречающейся причиной разрушения зубчатых колес и двигателя. Погрешность в оценке величины модификации приводит к концентрации контактных нагрузок и напряжений на кромках зубьев, что может приводить к закли-



Рис. 1. Картина входа зуба в зацепление под нагрузкой без модификации

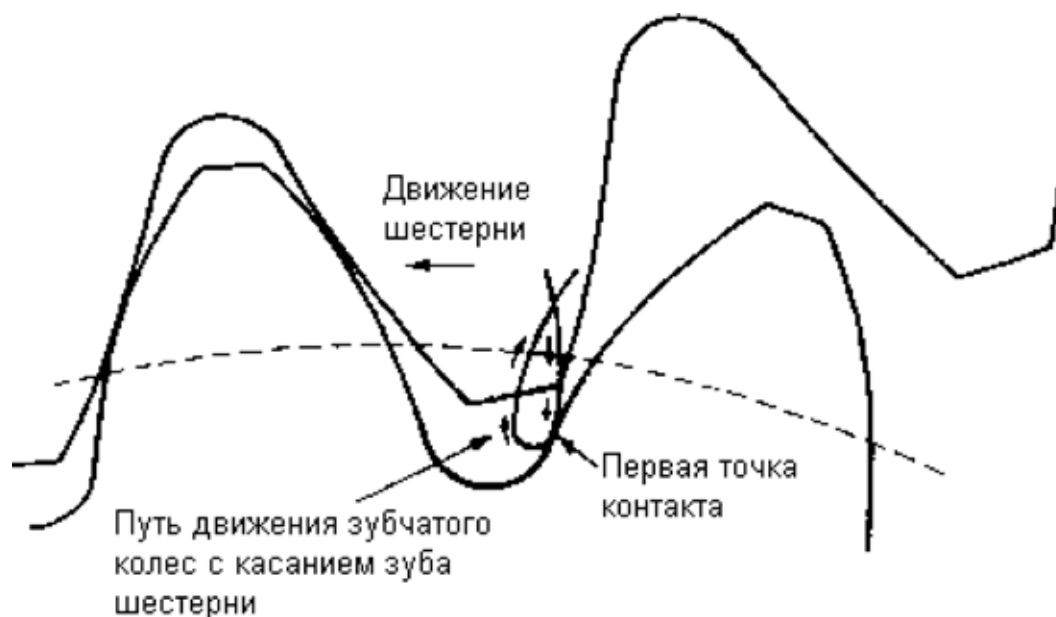


Рис. 2. Интерференция при входе зуба в зацепление

ниванию передачи и даже разрушению авиационного двигателя.

Проблема создания двигателя АИ-24 заключалась в том, что повышенное динамическое возбуждение в зубчатых колесах передавалось на лопатки и диски компрессора и сопровождалось обрывами лопаток I, III, VIII, IX и X ступеней компрессора и появлением трещин на дисках отдельных ступеней компрессора.

Таким образом, точность определения величины модификации играет ведущую роль в обеспечении работоспособности зубчатой передачи.

В настоящее время известно несколько методов определения формы линии модификации для зубчатых колес. Экспериментальный способ является самым надежным, но также самым дорогостоящим и длительным.

Определенной проблемой при определении величины модификации является отсутствие развитого математического аппарата. Эти параметры назначаются конструктором в процессе доводки изделия, исходя из значений нагрузок и точности изготовления зубчатого колеса, и опыта доводки изделия.

Другая проблема существующих методов модификации состоит в том, что форма линии модификации профиля подбирается для обоих колес независимо друг от друга. По этой причине, решение данной задачи является сложной процедурой, требующей проведения множества расчетов, причем данный подход не ведет к последовательному улучшению качества зацепления, поскольку устранение пиков напряжений для одного из участков профиля зубчатого колеса может привести к возникновению пиковых нагрузок на других участках профиля, что связано с нарушением сопряженности зацепления. Нарушение сопряженности зацепления приводит к повышенной вибрационной активности зубчатых колес.

Таким образом, в существующих методах модификации зубчатых колес можно выделить несколько направлений:

- Независимая модификация каждого из зубчатых колес.
- Нарушение сопряженности зацепления зубчатых колес под нагрузкой, и как следствие повышенный уровень вибрации.
- Отсутствие математического аппарата, позволяющего определять форму линии модификации зубчатых колес исходя из условия сопряженности под действием нагрузок в зацеплении.

Для устранения этих недостатков был разработан метод профильной модификации зубчатых колес, который позволяет свести данную задачу к подбору параметров модификации только для одного из зубчатых колес. Форма линии модификации сопряженного колеса получается расчетным путем исходя из условий сопряженности **под нагрузкой**. Это позволяет достичь искомой геометрии зубчатых колес в несколько итераций.

Для задания формы профиля  $M_p$  зубчатого колеса был выбран подход, применяемый в измерительных машинах для определения величины отклонения профиля зубчатого колеса от линии теоретической эвольвенты. При таком подходе положение точки на профиле измеряемого колеса определяется углом развернутости теоретической эвольвенты  $V$ . Величина отклонения  $f$  определяется как расстояние от данной точки профиля до линии теоретической эвольвенты, измеренное по нормали к линии теоретической эвольвенты, которая принята за номинальную линию.

Преимущество данного подхода состоит в том, что результирующие данные могут быть использованы для ввода линии модификации по точкам в станок с числовым программным управлением.

На основании данных о форме линии модификации ведущего колеса после утолщения ножки был выполнен



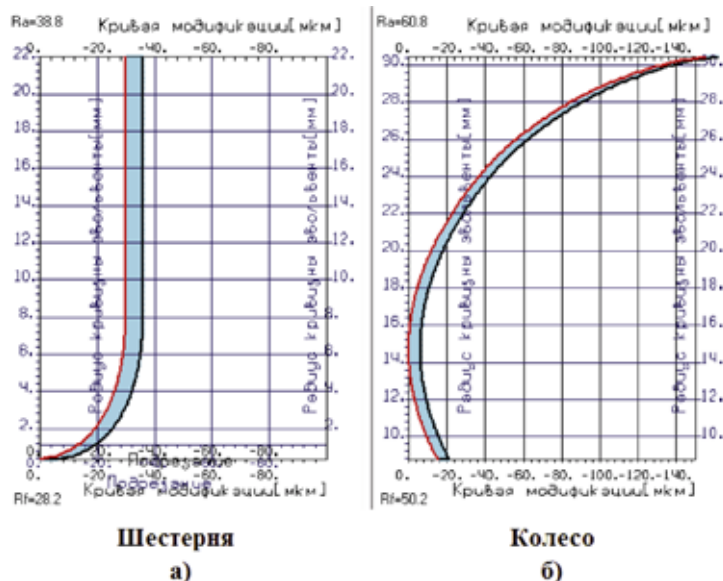


Рис. 3. Форма линии модификации сопряженного колеса

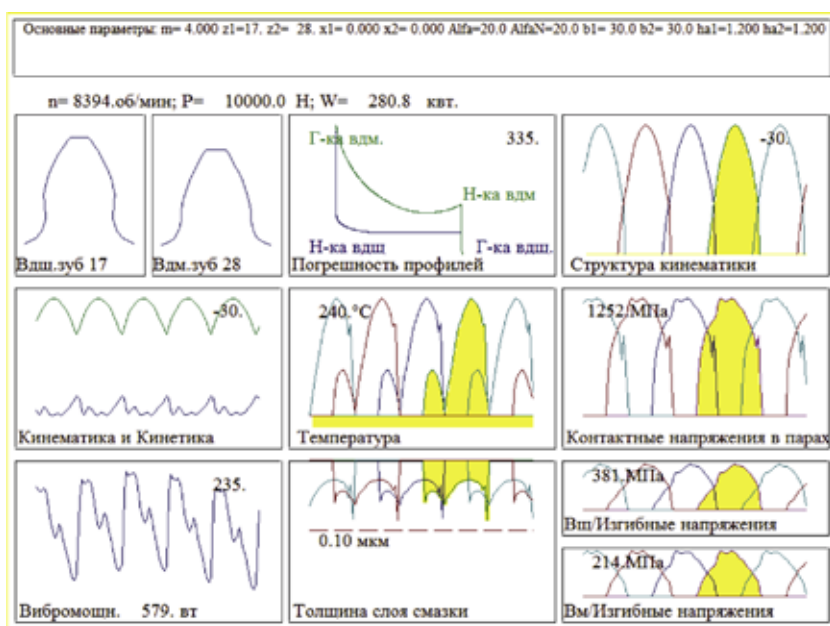


Рис. 4. Действующие нагрузки после получения формы линии модификации сопряженного колеса с помощью разработанной методики

расчет формы линии модификации для ведомого колеса. Полученная форма линий модификаций показана на рис 3.

Как видно из рис. 4 использование разработанной методики позволило исключить пики напряжений при входе и выходе зубьев из зацепления.

#### Литература:

1. ГОСТ 21354–87 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность
2. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Нежурин И.П. и др. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ.издание/; Под ред. Ю.С. Елисеева. — М.: Высш. шк., 2001. — 493 с. ; ил.
3. Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи, М. — Л.: Машгиз, 1957, 264 стр., ил.



## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

### Разработка способа прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью

Быков К.В., аспирант

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Магистральные трубопроводы проходят в разных географических зонах, различающихся рельефом, климатическими особенностями, наличием естественных и искусственных препятствий.

Значительная часть территории РФ характеризуется высокой сейсмической активностью. В таких регионах страны, как Северный Кавказ, Юг Сибири и Дальнего Востока интенсивность сейсмических сотрясений достигает 8–9 и 9–10 баллов по 12-балльной макросейсмической шкале MSK-64. Все это приводит к необходимости учитывать сейсмические воздействия на подземные трубопроводы, чувствительные к сейсмическим смещениям и к динамическим воздействиям [1, с. 15–16].

Данная тематика является особенно актуальной в настоящее время, когда запущен в работу грандиозный проект нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан», а также проектируется газопровод «Алтай».

Таким образом, очевидна необходимость разработки специальных методов обеспечения абсолютной надежности конструкции и безаварийной эксплуатации магистральных трубопроводов.

Анализ инженерных решений, обеспечивающих строительство магистральных трубопроводов в зонах с повышенной сейсмичностью, показал, что предлагаемые решения можно условно классифицировать по следующим типам:

- создание искусственных оснований различного вида под трубопроводом, включая различные опорные элементы;
- создание в трубопроводе предварительных напряжений за счет монтажных изгибов трубопровода, которые при эксплуатационных перемещениях трубопровода совместно с грунтами обеспечивают придание трубопроводу новой эксплуатационной формы, что вызывает в нем эксплуатационные напряжения, противоположные по знаку предварительным.

Известен способ прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью, заключающийся в отрыве траншеи, укладке в нее трубопровода и засыпке траншеи грунтом с предварительным оснащением трубопровода приспособлениями, компенсирующими сейсмические нагрузки, в виде нанесенных на трубопровод оберток с закреплением их продольных кромок

бандажами, между наружной поверхностью трубопровода и внутренней поверхностью обертки создают расчетной величины зазор [2, с. 5].

Недостатками известного способа прокладки являются сложность и достаточно высокая стоимость операции, а также сложности при проведении ремонтных и профилактических работ в процессе эксплуатации трубопровода.

В Санкт-Петербургском государственном горном университете разработан способ прокладки трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью [3, с. 3–5].

Техническим результатом изобретения является повышение надежности работы трубопровода за счет упрощения способа его прокладки, а также за счет упрощения и удешевления операций, связанных с ремонтом и профилактикой оборудования трубопровода в процессе его эксплуатации.

Способ прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью, осуществляется следующим образом. После отрыва траншеи 1 и укладки в нее трубопровода 2 он оснащается приспособлениями, компенсирующими сейсмические нагрузки, которые выполняются в виде размещенных по длине трубопровода на поверхности грунта 3 плит 4, фиксируемых в грунте с помощью закрепленных на плите по ее периметру и размещенных с отклонением наружу от плиты четырех опор 5, 6 и 7, 8. На каждой плите с помощью шарнира 9 с возможностью поворота в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось трубопровода, установлен двуплечий рычаг, одно плечо 10 которого ориентировано нормально к продольной оси трубопровода и шарнирно 11 соединено с закрепленным на нем бандажом 12, а второе плечо 13 двуплечего рычага ориентировано под прямым углом к первому плечу 10, направлено вдоль оси трубопровода, шарнирно 14 соединено с тягой 15, наклонно ориентированной (под углом 45 градусов к продольной оси трубопровода) и шарнирно 16 соединенной с другим бандажом 17, также закрепленным на трубопроводе 2. После монтажа компенсационного узла траншея засыпается грунтом.

В процессе эксплуатации трубопровода 2 при возможных сейсмических воздействиях, особенно при ориентировании сдвигающих усилий в продольном относительно трубопровода направлениях, эти усилия будут компенсироваться за счет описанного выше способа про-

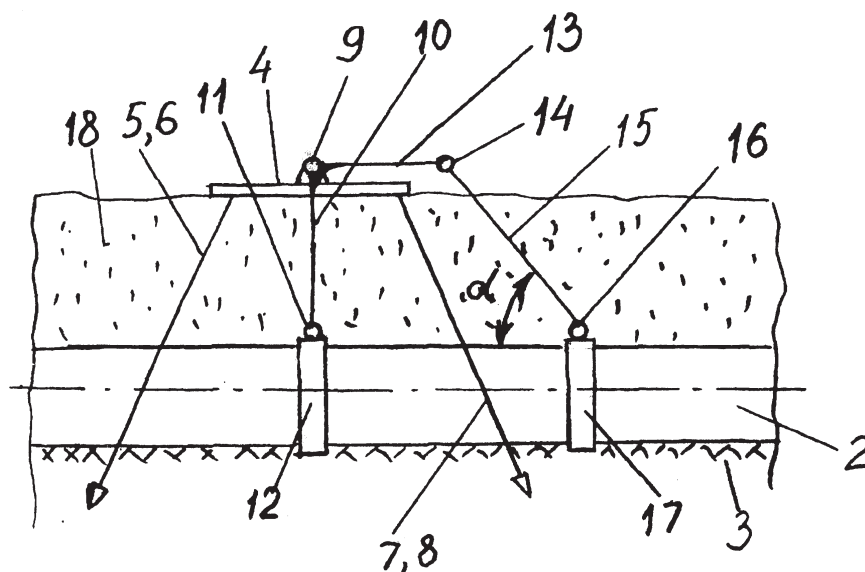


Рис. 1. Продольный разрез по трубопроводу

кладки. А именно, при приложении продольного усилия к трубопроводу 2 плечо 10 двуплечего рычага имеет тенденцию к повороту относительно шарнира 9, установленного на бандаже 12, закрепленном на трубопроводе. При этом крутящий момент, создаваемый этим усилием относительно шарнира 9, установленного на плите 4, за счет кинематической связи второго плеча 13 двуплечего рычага с тягой 15, обеспечивает передачу на трубопровод 2 усилия такой же величины, но противоположного знака за счет тенденции второго бандаж 17, закрепленного на трубопроводе 2, сместиться в сторону первого бандаж 12. При этом реакции от нагрузок на плечи 10 и 13 двуплечего рычага воспринимаются опорами 5,6 и 7, 8, которые, благодаря своей ориентации относительно плиты, фиксируют последнюю в грунте, предотвращая смещение плиты вдоль продольной оси трубопровода 2. В связи с этим при сейсмических воздействиях трубопровод не будет подвержен растягивающим усилиям. Кроме того, в процессе

эксплуатации трубопровода проведение ремонтных и профилактических работ на трубопроводе при предлагаемом способе его прокладки значительно упрощаются, т.к. удалять насыпной грунт 18 необходимо удалять лишь в зонах размещения плит 4 с опорами 5–7.

### Выводы

Отличительные признаки изобретения обеспечивают повышение надежности трубопровода, упрощение его прокладки, а также упрощение и удешевления операций, связанных с ремонтом и профилактикой оборудования трубопровода в процессе его эксплуатации.

Небольшая материалоемкость, простота конструкции и отсутствие в ней сложных узлов является несомненным преимуществом данной опоры. Предложенная опора удобна в монтаже. Её составные части можно изготовить на базе, а на трассе вести лишь монтаж.

### Литература:

1. Савинов О.А. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980.
2. Мухаметдинов Х.К. Способ прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью. Патент на изобретение №2250409 от 20.04.2005.
3. Тарасов Ю.Д., Николаев А.К., Червонный С.И., Быков К.В. Способ прокладки подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью. Заявка на изобретение №2010148810/06 приоритет от 29.11.2010.

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

### Нейтрализация статического электричества на поверхности текстильных настенных покрытий в процессе их производства

Калиновская И.Н., кандидат технических наук, ст.преподаватель  
Витебский государственный технологический университет

При производстве текстильных настенных покрытий в результате трения текстильного полотна и полотна основы о поверхность линии по производству обоев возникает электрический заряд, вследствие чего на линии отмечались случаи поражения рабочего персонала разрядом статического электричества. Поскольку данная линия включает большое число валов и роликов, то на ней имеет место кумулятивный эффект (величина электрического заряда постепенно увеличивается). Также в результате взаимного отталкивания слоев текстильных настенных покрытий в готовом рулончике обоев, которое возрастает с увеличением диаметра рулончика, наблюдается рыхлая намотка.

Для решения указанных проблем изучены возможные способы снятия электростатического напряжения с поверхности рулонных материалов и установлено, что наиболее эффективны активные игольчатые нейтраллизаторы с дополнительным источником энергии [1].

По результатам теоретических и практический исследований разработано устройство для нейтрализации зарядов статического электричества на поверхности рулонных материалов (рисунок 1), включающее нейтраллизатор 1, соединенный экранированным соединителем 2 с источником импульсного напряжения 3 [2].

Нейтраллизатор статического электричества представляет собой штангу 1 кругового сечения со встроенными иглами излучателя-электрода 4, изолятором 2 и излучателем-электродом 3 (рисунок 2). Иглы нейтраллизатора создают электрическое поле, благодаря которому молекулы воздуха около штанги превращаются в отрицательно и положительно заряженные ионы.

Для создания электрического поля возле игл нейтраллизатора на них подается высокое напряжение с внешнего источника. В качестве внешнего источника используется источник импульсного напряжения с выходным значением 18 кВ.

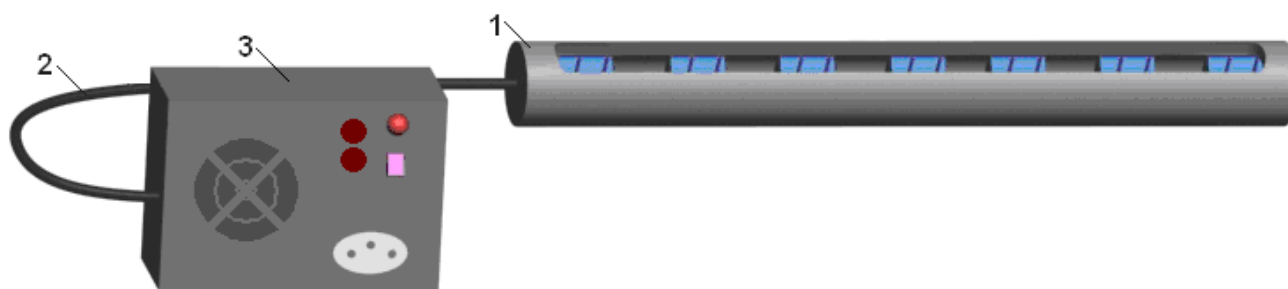


Рис. 1. Внешний вид устройства

1 – нейтраллизатор; 2 – соединитель экранированный; 3 – источник импульсного напряжения

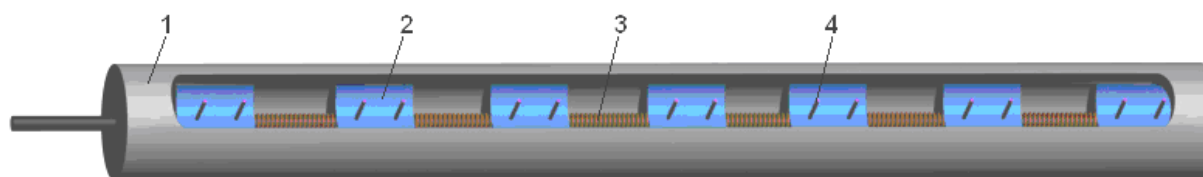


Рис. 2. Внешний вид нейтраллизатора статического электричества

1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – излучатель-электрод; 4 – игла излучателя-электрода

Таблица 1  
Технические характеристики устройства

Показатель	Величина показателя
Рабочая зона, мм	10–50
Рабочая температура, °С	10–35
Входное напряжение, В	~ 220
Выходное напряжение, кВ	импульсное, 18–20
Потребляемый ток, мА	100
Потребляемая мощность, Вт, не более	25

Высокое напряжение, поступающее от источника импульсного напряжения, подается на излучатели-электроды нейтрализатора. Сильное электрическое поле в этой области приводит к возникновению отрицательно и положительно заряженных ионов, которые стекают с острия игл излучателя-электрода нейтрализатора.

В результате изучения параметров устройств для нейтрализации статического электричества различных производителей, установлено следующее [3, 4]:

- с увеличением длины иглы нейтрализатора увеличивается ионизационный ток, а начальное рабочее напряжение уменьшается, что заметно снижает остаточное напряжение на поверхности материала (длина иглы разработанного устройства равна 18–19 мм).

- с уменьшением угла заострения иглы происходит улучшение стекания ионов с ее поверхности, что уменьшает величину остаточного электрического напряжения на поверхности материала (угол заострения иглы разработанного нейтрализатора не более 20 градусов).

- с уменьшением расстояния от материала до иглы нейтрализатора повышается эффективность его работы, однако при малом расстоянии (до 10 мм) возникает коронный разряд, приводящий к возникновению искры (оптимальное расстояние от материала до острия игл нейтрализатора – 28–30 мм).

Плотность расположения игл нейтрализатора также имеет большое значение: при большой плотности происходит взаимное перекрытие электрических полей рядом стоящих игл и их электрические поля ослабляются; если иглы расположены редко происходит снижение ионизации нейтрализатора.

Оптимальная частота расположения игл зависит от расстояния от иглы до нейтрализуемого материала.

Оптимальная частота расположения игл ( $n$ ) рассчитывается по формуле [3]:

$$n = L_n / 2h_u, \text{ при } h_u \neq 0,$$

где  $L_n$  – ширина нейтрализуемого материала, мм;

$h_u$  – расстояние от иглы до нейтрализуемого материала, мм.

При ширине текстильных настенных покрытий 53–55 см и расстоянии от нейтрализатора до полотна текстильных обоев 28–30 мм оптимальная частота расположения игл должна составлять 9,8–8,8 мм.

Таким образом, было изготовлено устройство для нейтрализации зарядов статического электричества на поверхности рулонных материалов с длиной иглы 19 мм, углом заострения игл не более 20 градусов и расстоянием между иглами 10 мм [5]. Технические характеристики разработанного устройства представлены в таблице 1.

Разработанное устройство имеет ряд преимуществ перед уже существующими:

- используется источник импульсного напряжения, что снижает энергозатраты;

- выходное напряжение составляет 18 кВ, благодаря чему рабочая зона равна 10–50 мм;

- изготовлено из стандартных узлов и деталей, что позволяет выпускать нейтрализатор без дополнительных материальных затрат.

Внедрение разработанного устройства осуществлено в производственных условиях филиала «Белобои» (г. Минск) ОАО «Белорусские обои».

#### Литература:

1. Калиновская, И.Н. Устройство для снятия статического электричества с поверхности текстильных настенных покрытий / И.Н. Калиновская, А.А. Белов, Е.М. Коган // Тезисы докладов ХLI науч.-технич. конф. преподавателей и студентов ун-та / УО «ВГТУ»; гл. ред. В.В. Пятов. – Витебск, 2008. – С. 71–72.
2. Калиновская, И.Н. Снятие статического электричества с поверхности текстильных настенных покрытий / И.Н. Калиновская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2008. – Вып. 15. – С. 69–73.
3. Нейтрализаторы // Промышленная безопасность [Электронный ресурс] – 2007. – Режим доступа: <http://www.q2.ru>.
4. Игольчатые нейтрализаторы в защищенном и незащищенном исполнении // Каталог товаров Simco Industrial Static Control [Электронный ресурс] – 2009. – Режим доступа: <http://www.nwea.ru>.

5. Калиновская, И.Н. Технологический процесс получения текстильных настенных покрытий: дис. канд. тех. наук: 05.19.02 / И.Н. Калиновская. — Витебск, 2009. — 242 с.

## Оценка состояния неоландшафта Старооскольского района

Полева Е.А., кандидат педагогических наук

Старооскольский технологический институт (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Старооскольский район имеет на своей территории множество источников искусственного загрязнения всех компонентов природной среды. В пределах площади Старооскольского района сконцентрирован весь горно-металлургический цикл производства железа: добычный комплекс (Лебединский и Стойленский карьеры, шахта им. Губкина), обогатительный комплекс (дробильно-сортировочные и обогатительные фабрики) и комплекс передела (фабрика окомкования, завод ГБЖ, ОЭМК). Кроме того, в районе добываются и перерабатываются ОПИ с получением металлургической извести, гранулированного и тонкодисперсного мела, строительных, формовочных и стекольных песков, суспензии для обработки окатышей перед металлизацией и т.д. Местные предприятия промышленности строительных материалов (цементный завод, завод железобетонных изделий и др.) также входят в число источников загрязнения территории.

При проведении исследований подобного характера необходимо учитывать природную геохимическую специализацию данного района. Согласно имеющимся данным, фоновый эколого-геохимический спектр черноземов района имеет в своём составе значительные количества хрома, кадмия, кобальта, молибдена, цинка, никеля, меди и др. металлов. На территории Старооскольского района наблюдается технологическое увеличение фона на больших территориях значительной группой тяжелых металлов, их накопление во всех компонентах природной среды. При этом высокая токсичность многих из них могут иметь серьезные последствия не только для природной среды, но и для людей и животного мира.

Большая насыщенность на ограниченной территории производственных объектов, особенности природной среды, нарушения технологических циклов, нерациональное использование промышленных и других отходов помимо ухудшения экологической обстановки могут привести к ухудшению состояния среды жизни и нарушению природного ландшафта.

Для исследования качества почвы проводили анализ образцов грунта, отобранных вблизи промышленных предприятий и в городской черте (см. табл. 1).

Взвешивание проводили на аналитических весах НТР-120СЕ, точность  $\pm 0,1$  мг. Для определения характеристик взвешивали точно 100 г анализируемой почвы. Термическую обработку проводили в печи камерной СНОЛ 2.2,5.2/12,5-И1 с электронным терморегулятором ВАРТА ТП403. Измерение кислотности среды производили согласно стандартной методике в водной среде при помощи автоматического потенциометрического титратора АТП02. Время измерения рН составило 1 минуту. Определяли рН водной и солевой (0,1М KCl) вытяжки.

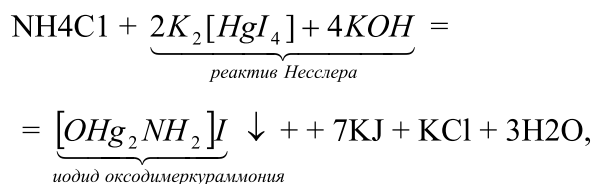
Качественное определение ионов аммония проводили по методу Нesslerа [1–4]. Для исследования 5–6 мл анализируемого отфильтрованного раствора смешивают с несколькими кристаллами сегнетовой соли, смесь переносят в пробирку, интенсивно встряхивают ее до полного растворения соли и добавляют по каплям реактив Нesslerа до появления красно-бурого осадка или желто-оранжевого окрашивания. Для количественного анализа к 25 мл очищенного анализируемого раствора прибавляют двойной избыток реактива Нesslerа и раствор с осадком

Таблица 1

Исследуемые пробы почвы

Номер пробы	Место взятия образца почвы
1	Непосредственная близость к ОЭМК (радиус удаления до 1000 м)
2	Небольшая удаленность от ОЭМК (до 10000 м)
3	Непосредственная близость к ЛГОКу (радиус удаления до 1000 м)
4	Небольшая удаленность от ЛГОКа (до 10000 м)
5	Непосредственная близость к СГОКу (радиус удаления до 1000 м)
6	Небольшая удаленность от СГОКа (до 10000 м)
7	Пересечение улиц Ленина-Комсомольская
8	Район городского пляжа

выдерживают 10 часов при комнатной температуре и еще 3 часа при нагревании на водяной бане. Осадок отфильтровывают через стеклянный фильтр и высушивают при 150 °С. Гравиметрическое определение по методу Несслера, основанно на реакции:



в которой образуется малодиссоциирующая весовая форма — иодид оксидимеркураммония, с очень низким фактором пересчета на азот  $F = 0,02584$ . Ввиду существенного человеческого фактора и жестких рамок проведения эксперимента метод отличается довольно высокой погрешностью. По этой причине для уточнения полученных результатов использовали модифицированную методику Кьельдаля (см. рисунок 1), основанную на титриметрическом анализе с предварительной отгонкой [5].

Для проведения измерения наливали 5 мл ледяной уксусной кислоты в приемник — колбу Эрленмейера объемом 50 мл, на которой был отмечен объем 30 мл, и помещали ее под холодильник дистиллятора Кьельдаля. Аликвотную часть анализируемого раствора, содержащую неорганический азота помещали в колбу Кьельдаля, объемом 70–150 мл. В колбу Кьельдаля по мере кипения добавляли по каплям 20 мл 30%-ного раствора NaOH, и помещали несколько кусочков пористого фарфора для обеспечения равномерного кипения. Установку отключали по достижении объема дистиллята 30 мл. Дистиллят

титровали 0,05М раствором хлорной кислоты. Титрование проводили в автоматическом режиме на потенциометрическом титраторе АТП-02 фирмы «Аквилон». Точку эквивалентности устанавливали при помощи комбинированного стеклянного рН электрода.

Характерные кривые титрования представлены на рисунке 2, где перегиб первой кривой и пик на второй соответствует завершению реакции нейтрализации.

Характеристику содержания в отобранных образцах почвы тяжелых металлов проводили с использованием анализатора вольтамперометрического АКВ-07МК с твердотельным электродом [6].

Отобранные образцы массой 100 г высушивают в сушильном шкафу при температуре 60°С и измельчают в фарфоровой ступке. Для проведения анализов готовят по две параллельных пробы.

Экстракцию подвижных форм тяжелых металлов выполняют ацетатно-аммонийным буферным раствором или раствором азотной (соляной) кислот молярной концентрацией 1М в соотношении пробы: объем экстрагента = 1:10.

«Влажные соли» растворяют в 1 мл раствора соляной кислоты с молярной концентрацией 1М, который добавляют по каплям из пипетки вместимостью 1 мл. Полученный раствор несколькими порциями раствора фоновое электролита количественно переносят в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводят объем раствора до метки.

В ходе анализа устанавливают значения параметров измерений и регистрируют вольтамперограммы соответствующего элемента для каждого раствора серии (фон, проба, проба с добавками).

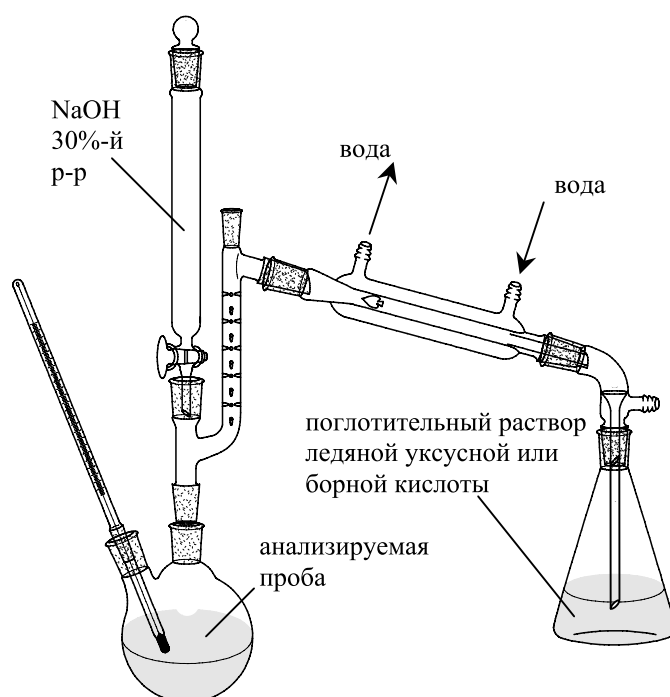


Рис. 1. Аппарат Кьельдаля для отгонки аммиака



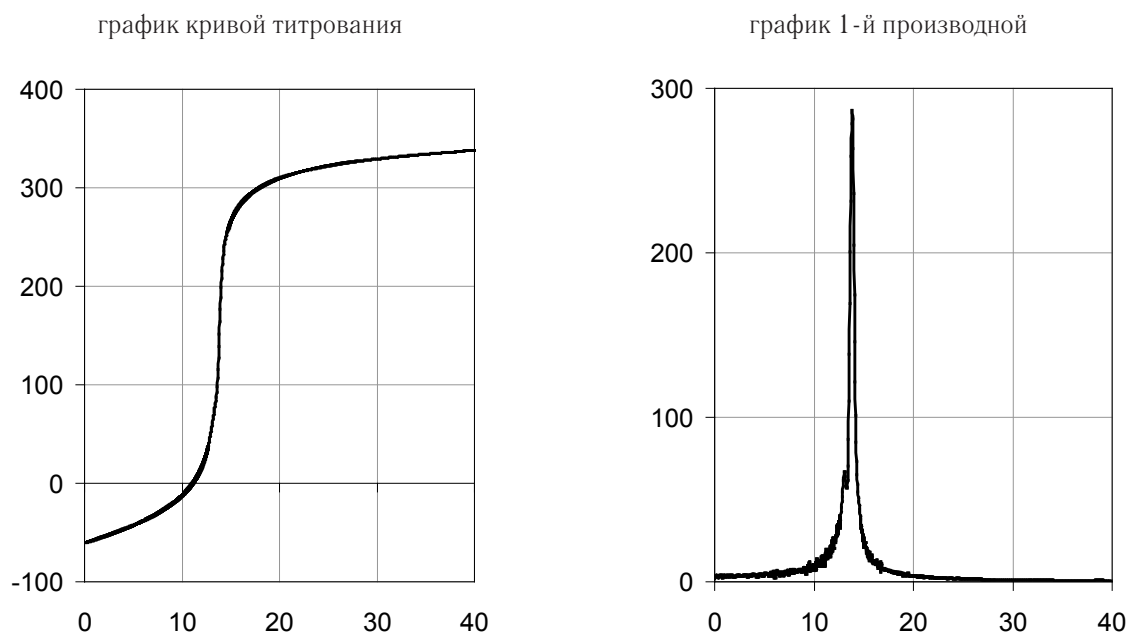


Рис. 2. Кривые титрования

Массовую долю (мкг/кг) каждого элемента в пробе каждого параллельного определения вычисляют по формуле:

$$\omega_i = X_i - X_{i0},$$

где  $X_i$  — массовая доля определяемого элемента в пробе,

$X_{i0}$  — массовая доля  $i$ -го элемента в «холостой» пробе.

За результат измерений принимают среднее арифметическое результатов всех измерений.

В ходе проведенного исследования были получены результаты, рассмотренные в таблице 2.

Концентрация аммония в почве соответствует средне-статистической норме для почв данного региона. Уровень pH исследуемых образцов №№ 2, 4, 6, 7, 8 в пределах нормы. Образцы №№ 1, 3, 5 имеют слабощелочную ре-

акцию среды, что свидетельствует о негативном влиянии выбросов металлургического производства на состояние почвы.

Данное исследование позволило охарактеризовать зависимость содержания нежелательных количеств компонентов в исследуемых образцах от места взятия пробы почвы для анализа. Качественный показатель содержащихся в почве компонентов имеет две равноправные составляющие: природные особенности, обуславливающие исходный элементный состав почвы и характер источника загрязнения окружающей среды, который находится в непосредственной близости к исследуемому образцу почвы.

Содержание никеля немного превышает фоновое значение для чернозёмов в образцах №3 и №5. Содержание железа в почве значительно, особенно в непосредственной близости к объектам металлургического произ-

Таблица 2

Результаты проведенного эксперимента

Анализируемый компонент	Проба							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
$\text{NH}_4^+$	17,5	31,5	15,4	18,3	15,4	20,1	12,1	24,1
pHводн.	7,5	6,8	8,2	7,1	8,3	7,3	6,5	6,0
pHсолев.	6,1	5,3	6,8	5,8	6,8	5,7	5,2	4,6
Fe <sub>общ.</sub>	25,2	15,1	37,2	30,2	42,2	27,2	3, 5-	1,3
Ni <sup>2+</sup>	2,1-	1,2-	24,3	5,2	20,2	3,1	1,8-	—
Pb <sup>2+</sup>	9,1	3,4	8,5	6,2	9,3	4,2	7,5	1,5
Mn <sup>2+</sup>	1,2	0,6	2,1	0,6	3,1	1,1	—	—
Cu <sub>общ.</sub>	1,7	0,5	9,2	2,1	3,2	0,7	2,1	—

водства, т.к. к природному железу в различных формах, изначально присутствующему в почве, прибавляется железо техногенного происхождения: образцы №№ 1, 3, 5.

Содержание свинца находится на верхней границе ПДК согласно ГН 2.1.7.2041–06, СанПин 2.1.7.1287–03 практически во всех образцах, кроме № 8.

Марганец встречается в образцах №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6 в небольших количествах. По содержанию меди и никеля пробы №№ 3, 5 насыщены максимально.

Загрязнения почв образцов №№ 1, 3, 5 заслуживают особого внимания, т.к. полученные количественные показатели находятся в верхней границе фоновых показателей.

#### Литература:

1. Алексеев В.Н. Качественный анализ. М.: Химиздат 1960
2. Волюнец В.Ф., Волюнец М.П., Аналитическая химия азота. М.: Наука, 1977 г., 307 с.
3. Крешков А.П. Основы аналитической химии, кн. 1. М.: Химия, 1970
4. Танаев Н.А. Капельный метод М.: Госхимиздат, 1954
5. Brandstreet R.B. Am. Nool Publ. Rec. New York Acad. Press, 6, To 11, 59 (1965)
6. Плэмбек Дж. Электрохимические методы анализа. Основы теории и применение. М: Мир, 1985 г., 496 с.

## Технические средства для вибрационно-центробежного гранулирования техногенных материалов

Севостьянов В.С., доктор технических наук, профессор; Ильина Т.Н., кандидат технических наук, профессор;

Свергузова С.В., доктор технических наук, профессор; Фетисов Д.Д., инженер; Шкарпеткин Е.А., аспирант  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В связи с ростом числа предприятий малого и среднего бизнеса, где в условиях конкуренции требуется необходимость в быстрой переориентации производства, весьма актуально создание высокоэффективного и энергосберегающего оборудования. Наряду с этим, важной задачей различных производств является проблема утилизации техногенных материалов, образующихся при изготовлении конечной продукции.

Для утилизации пылевидных, вязко-пластичных и текучих материалов целесообразно использовать технику и технологию компактирования материалов: гранулирование, экструдирование, брикетирование, прокатка и др. [1]. Каждый из указанных способов обладает своими преимуществами и технологической целесообразностью, учитывающей дальнейшие способы утилизации сформованных тел (термохимическая обработка при использовании в качестве техногенного сырья, в виде заполнителей, в том числе поризованных, в качестве дополнительных источников тепловой энергии при их переработке и др.). При этом возможна комбинация жидких и порошкообразных техногенных материалов, которые в виде композиционной шихты могут быть подвергнуты формованию (перлит и вермикулит содержащие композиционные смеси, нефтебитум содержащие смеси

Рекомендации по оздоровлению почв сводятся к снижению уровня воздействия источников загрязнения почвы путем осуществления мероприятий по снижению доступности токсикантов. В отношении промышленных предприятий рекомендуемые меры связаны с использованием высокотехнологичных методов очистки промышленных отходов. По поводу транспортных средств, являющихся основным источником поступления свинца в окружающую среду, имеет место рекомендация перехода эксплуатации транспортных средств на стандарт Euro5, а также усиление мер контроля исправности используемых населением автомобилей.

для производства щебеночно-мастичных покрытий, топлива содержащие компоненты и др.). При этом важным аспектом дальнейшего развития техники и технологии утилизации техногенных материалов является их рациональное использование в качестве нетрадиционных видов топлива, например, в виде широко распространенных в развитых странах Европы — пеллет, для последующей выработки из них, при сжигании, тепловой и электрической энергии.

В этой связи возникает необходимость создания высокоэффективной техники и технологии производства сформованной продукции из вязко-пластичных материалов (например, из отходов деревообрабатывающей промышленности с нефтешламовыми связующими), обладающих большой теплотворной способностью.

Существующая техника гранулирования материалов (тарельчатые, барабанные грануляторы, окомкователи и др. [2, 3]) не обеспечивают динамического воздействия на обрабатываемый материал и получение сформованных тел из вязко-пластичных материалов с заданными характеристиками (размерами, плотностью, прочностью, упрочненным поверхностным слоем и др.).

С целью реализации данной задачи нами был разработан вибрационно-центробежный гранулятор (ВЦГ) [4],

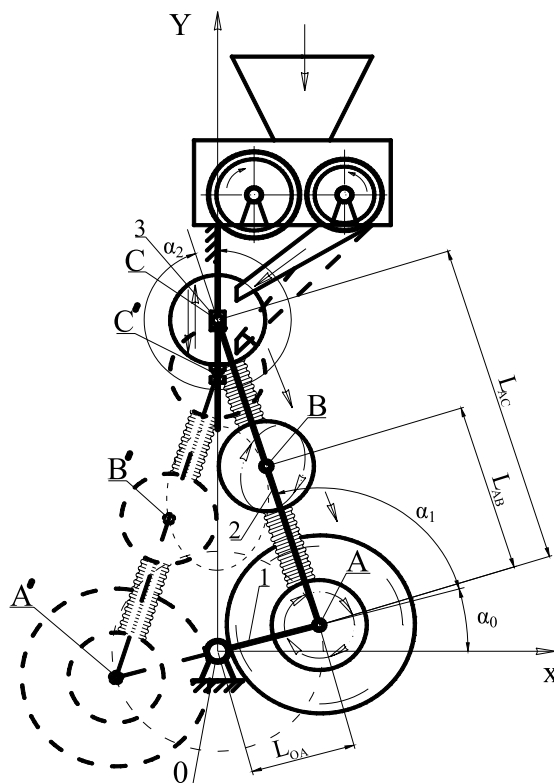


Рис. 1. Расчётная схема рычажного механизма ВЦГ  
1 – кривошип (эксцентровый вал), 2 – шатун, 3 – ползун.

в котором траектория движения каждого из рабочих барабанов определяет характер движения формуемого материала, что позволяет получать гранулы с заданными физико-механическими характеристиками.

Конструкция ВЦГ имеет устройство подготовки гранул, выполненное в виде профильных валков, а так же кривошипно-ползунный механизм, обеспечивающий заданное движение рабочих камер. Блок гранулирования включает три формирующих барабана, которые жёстко закреплены на подвижной раме. Каждый барабан совершает движение по индивидуальной траектории за счёт того, что рама, на которой они установлены, в нижней части шарнирно соединена с кривошипами, а в верхней – с ползунами, движущимися по вертикальным направляющим.

Для изучения кинематики движения формирующих барабанов необходимо провести расчёты и составить функции положения основных точек звеньев рычажного механизма, которые также будут влиять на характер движения материала в рабочих камерах [5].

На рис. 1 представлена расчетная схема рычажного механизма блока гранулирования.

При составлении расчётной схемы использована система координат XY, которая связана со стойкой O.

Точка C является местом крепления верхнего барабана, которая так же совпадает с положением центра оси шарнира ползуна (звена 3). Уравнение, описывающее перемещение точки C, представлено в виде:

$$Y_C = L_{OA} \cdot \sin \alpha_0 + \sqrt{L_{AC}^2 - (L_{OA} \cdot \cos \alpha_0)^2}, \quad (1)$$

где  $Y_C$  – величина перемещения точки C, м;  $L_{OA}$  – эксцентриситет (величина звена 1), м;  $L_{AC}$  – величина звена 2, м;  $\alpha_0$  – угол поворота входного звена 1, град.

Полученное уравнение описывает движение, совершаемое верхним барабаном и определяет характер воздействия на формуемый материал.

Для точки B, которая является местом положения среднего барабана, получены следующие уравнения:

$$\begin{aligned} X_B &= L_{OA} \cos \alpha_0 + L_{AB} \cos(\alpha_0 + \alpha_1), \\ Y_B &= L_{OA} \sin \alpha_0 + L_{AB} \sin(\alpha_0 + \alpha_1), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $L_{AB}$  – расстояние от точки B до точки A вдоль звена 2, м;  $\alpha_1$  – угол поворота звена 2 относительно звена 1, град.

Траектория движения среднего формиющего барабана представляет собой эллипс. При постоянном значении  $L_{OA}$  (эксцентриситета) изменение положения точки B будет определять траекторию движения формиющего барабана, а следовательно, условия движения в нем формуемого материала.

В точке A закреплён нижний формирующий барабан и расположенные на его торцах тороидальные камеры. Для данной точки характерны уравнения, описывающие движение точки по круговой траектории, и, соответственно, движение рабочих органов, а так же находящегося в них материала:

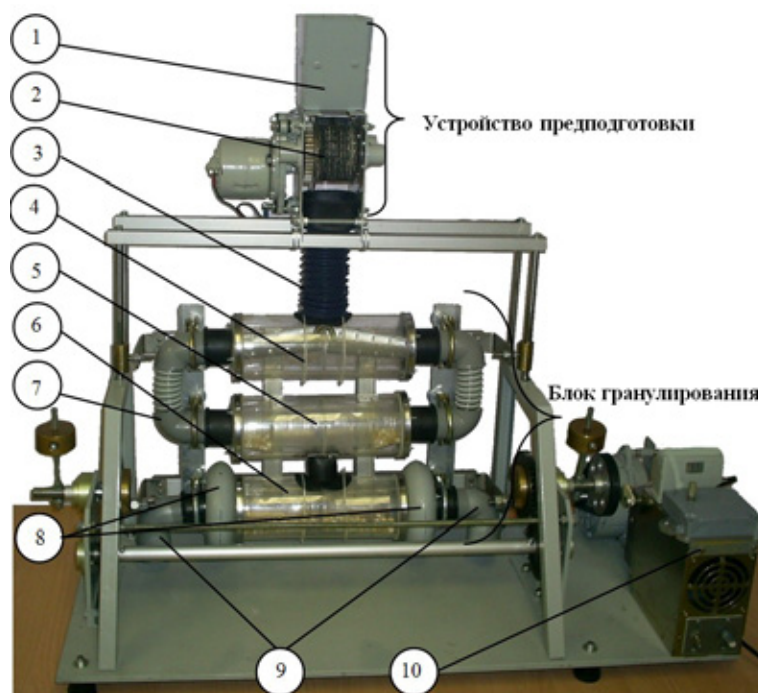


Рис. 2. Стендовая установка вибрационно-центробежного гранулятора

$$\begin{aligned} X_A &= L_{OA} \cos \alpha_0, \\ Y_A &= L_{OA} \sin \alpha_0. \end{aligned} \quad (3)$$

С учётом полученных закономерностей траекторий движения формирующих барабанов и гранулируемого материала в них нами разработана стендовая установка ВЦГ (рис. 2.).

Установка работает следующим образом. Предварительно подготовленная к формированию шихта подается в загрузочный бункер 1, откуда поступает на вращающиеся навстречу друг другу валки 2, где осуществляется ее микрогранулирование. По питающему устройству 3 микрогранулят подается в первый формирующий барабан 4 блока гранулирования. За счет использования расположенных в нём виброротков обеспечивается продвижение микрогранулята и равномерная его подача по соединительным патрубкам 7 во второй барабан 5. При движении барабана 5 по эллипсообразной траектории реализуется рост гранул и их динамическое уплотнение. Через центральное разгрузочное отверстие среднего барабана гранулы поступают в третий барабан 6, траектория движения которого представляет собой окружность. Окачивание в этом барабане происходит за счёт сил трения, центробежных, инерционных и др. сил, значение которых определяется скоростными параметрами вращения кривошипов. При этом на концах барабана 6 установлены торообразные камеры 8, где осуществляется последняя стадия процесса формирования, а гранулы принимают сферическую форму с упрочненным поверхностным слоем. Готовый продукт выходит через разгрузочные патрубки 9. Регулирование частоты вращения вала основного электродвигателя, передаю-

щего вращение кривошипу, а также режима работы электропривода устройства подготовки осуществляется блоком управления 10.

При изучении процессов гранулирования материалов с различными физико-механическими характеристиками нами использовано физическое моделирование.

Моделирование процесса движения формируемого материала осуществляли на стендовой установке с прозрачными барабанами (рис. 3). Установка имеет следующие параметры: диаметр формирующих барабанов  $D_1 = D_2 = D_3 = 85$  мм, длина барабанов  $L_1 = L_2 = L_3 = 220$  мм, диаметр торообразных камер  $D_{T1} = D_{T2} = 105$  мм, ширина  $B_{T1} = B_{T2} = 40$  мм, величина эксцентриситета  $e = 20$  мм, частота вращения кривошипов  $n = 150-400$  об/мин.

Для исследований использовали следующие материалы: пылеунос перлитового производства (размер частиц менее 0,16 мм), бентонит, гипс, раствор ЛСТ, жидкое стекло.

В результате проведенных исследований было установлено, что процесс гранулообразования стабилен при следующем составе шихты (в % мас.): перлит — 26–35, бентонит — 13–17, гипс — 13–17, ЛСТ — 16–22 (на сухую часть), жидкое стекло — 23–26 (на сухую часть). При этом влажность смеси составляла 52–56%, частота вращения кривошипов 250–380 об/мин.

Полученные гранулы размером 3–7 мм обладали следующими характеристиками: насыпная плотность 190–300 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие в цилиндре 0,15–0,35 МПа.

Сравнение характеристик полученных гранул с требованиями ГОСТ 10832–91 «Щебень и песок перлитовые вспученные» показывает, что из техногенного пылевид-

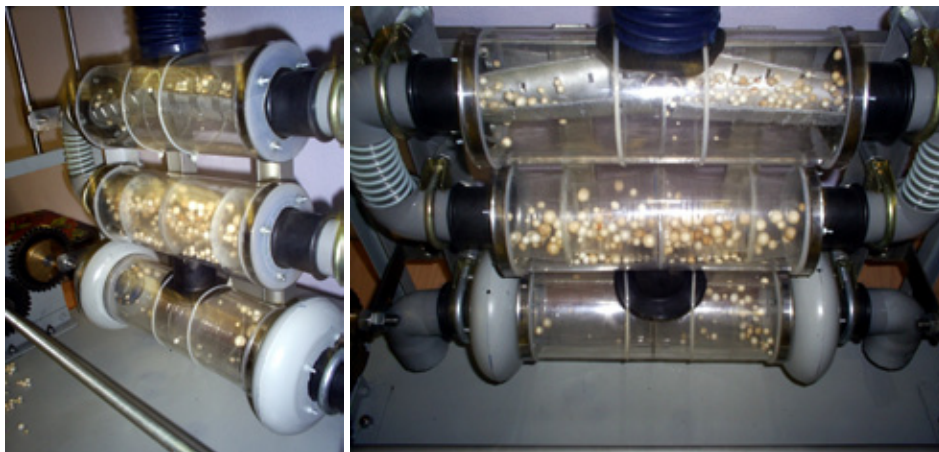


Рис. 3. Моделирование движения формируемого материала

ного материала можно получить продукт, удовлетворяющий требованиям (по прочности и насыпной плотности) для марки М300.

Реализация постадийного процесса гранулирования в ВЦГ с предварительным микрогранулированием исходной шихты позволяет получать гранулированный продукт с заданными характеристиками из различных техногенных материалов: пылеуноса сушильных и обжиговых агрегатов (цементного, перлитового, стекольного и др. производств), золошлаковых отходов, отходов дерево-

обрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности с нефте-шламовыми связующими и др.

Таким образом, проведённые нами конструкторско-технологические разработки и опытно-экспериментальные исследования процесса постадийного гранулирования композиционных смесей, позволили обоснованно подходить к созданию опытно-промышленного образца вибрационно-центробежного гранулятора, его кинематических и конструктивно-технологических параметров.

#### *Литература:*

1. Севостьянов В.С. Технические основы переработки и утилизации техногенных материалов / В.С. Севостьянов, Л.И. Шинкарев, М.В. Севостьянов, А.А. Макридин, Н.В. Солопов // Учебное пособие. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород, 2011—270 с.
2. Равич Б.М., Окладников В.П., Лыгач В.Н. Комплексное использование сырья и отходов — М.: Химия, 1988—288 с.
3. Ласкорин Б.Н. Проблемы развития безотходных производств / Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П. и др. — М.: Стройиздат, 1981—208 с.
4. Пат. №2412753 РФ, Вибрационно-центробежный гранулятор / Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Уральский В.И., Шкарпеткин Е.А.; заявл. 25.09.09 ; опубл. 27.02.2011, Бюл. №6.
5. Севостьянов В.С. Вопросы динамического исследования центробежного помольно-смесительного агрегата / В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, Е.В. Сеница, А.В. Уральский // Вибрационные машины и технологии: Сборник науч. тр. / редкол: С.Ф. Яцун (отв. ред.) и др.: Курский гос. техн. унив-т. — Курск, 2008. — С. 596—601.

*Научное издание*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Международная заочная научная конференция  
г. Пермь, июль 2011 г.

*Материалы печатаются в авторской редакции*

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.07.2011. Формат 60х90 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 5,72. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Меркурий»  
614010, г. Пермь, Комсомольский пр., 80