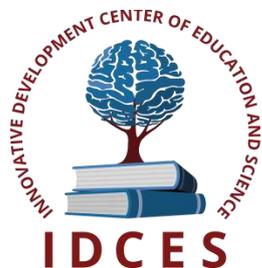


**ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE**



**Современный взгляд на проблемы технических наук**

**Выпуск IV**

**Сборник научных трудов по итогам  
международной научно-практической конференции  
(11 сентября 2017 г.)**

**г. Уфа**

**2017 г.**

УДК 62(06)  
ББК 30я43

**Современный взгляд на проблемы технических наук.** / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 4. г. Уфа, 2017. 94 с.

**Редакционная коллегия:**

доктор технических наук, профессор Аракелян Э.К. (г. Москва), кандидат технических наук Белоусов М.В. (г. Екатеринбург), доктор физико-математических наук, профессор Будагян И.Ф. (г. Москва), доктор технических наук Бунаков П.Ю. (г. Коломна), кандидат технических наук Валеев А.Р. (г. Уфа), доктор технических наук, профессор Высоцкий Л. И. (г. Саратов), профессор, академик МАНЭБ, заслуженный ветеран СО РАН Галкин А. Ф. (г. Санкт-Петербург), кандидат технических наук, доцент Горюнова В.В. (г. Пенза), кандидат педагогических наук Давлеткиреева Л.З. (г. Магнитогорск), доцент доктор технических наук, профессор Дадашев М.Н. (г. Москва), доктор технических наук, профессор Денисов В.Н. (г. Санкт-Петербург), кандидат технических наук Егоров А. Б. (г. Харьков), доктор технических наук, профессор Жуманиязов М.Ж. (Узбекистан, г. Ургенч), доктор технических наук, профессор, заслуженный мелиоратор РФ Заднепровский Р.П. (г. Волгоград), кандидат технических наук Иванов В.И. (г. Москва), кандидат технических наук Ключева И.В. (г. Новосибирск), кандидат технических наук, доцент Корниенко В.Т. (г. Ростов-на-Дону), кандидат технических наук, профессор Куберский С.В. (Украина, г. Алчевск), доктор технических наук, доцент Курганова Ю. А. (г. Москва), кандидат физико-математических наук Лапушкин Г.И. (г. Москва), кандидат технических наук Мостовой А.С. (г. Энгельс), доктор технических наук, профессор Мухуров Н.И. (Белоруссия, г. Минск), кандидат технических наук, доцент Никулин В.В. (г. Саранск), кандидат технических наук, профессор Охрименко О.В. (г. Вологда-Молочное), доктор технических наук, профессор Пачурин Г. В. (г. Нижний Новгород), кандидат технических наук Полонский Я.А. (г. Волгоград), кандидат технических наук Решетняк С. Н. (г. Москва), инженер, аспирант Рычков Е.Н. (Франция, г. Пуатье), доктор химических наук Хентов В.Я. (г. Новочеркасск).

В сборнике научных трудов по итогам IV Международной научно-практической конференции «**Современный взгляд на проблемы технических наук**», г. Уфа, представлены научные статьи, тезисы, сообщения студентов, аспирантов, соискателей учёных степеней, научных сотрудников, докторантов, специалистов практического звена Российской Федерации, а также коллег из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

© ИЦРОН, 2017г.  
© Коллектив авторов

## Оглавление

<b>СЕКЦИЯ №1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01) .....</b>	<b>6</b>
<b>СЕКЦИЯ №2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00).....</b>	<b>6</b>
ОБОБЩЕНИЯ МЕТОДА НЕЧЕТКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ Алексеев Ф.Ф. ....	6
ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫЕ СЕТИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ Желенков Б.В. ....	15
<b>СЕКЦИЯ №3. ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00) .....</b>	<b>16</b>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «ASRUS-M» Шалумов А.С. <sup>1</sup> , Шалумов М.А. <sup>2</sup> .....	17
<b>СЕКЦИЯ №4. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00) .....</b>	<b>21</b>
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ Рогозин Г.И., Прохоров В.Г., Испирян Н.В., Испирян С.Р. ....	21
<b>СЕКЦИЯ №5. ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00).....</b>	<b>25</b>
ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНЫХ НОМОГРАММ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ Геркусов А.А. ....	25
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ, УСТРОЙСТВ, ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «ЭНЕРГОМОДЕЛЬ-M» Шалумов А.С. <sup>1</sup> , Шалумов М.А. <sup>2</sup> , Ильин С.А. <sup>1</sup> .....	30
ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛАХ Щукис Е.Г. ....	34
<b>СЕКЦИЯ №6. ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00).....</b>	<b>37</b>
СООТНЕСЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ Быков И.Ю., Заикин С.Ф. ....	38
<b>СЕКЦИЯ №7. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00).....</b>	<b>42</b>

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ABS-ПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННОГО ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ Костина Е.С. <sup>1</sup> , Чубуков А.И. <sup>2</sup> , Ильинкова Т.А. <sup>3</sup> , Клабуков М.А. <sup>4</sup> .....	42
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УДАЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ И СУЛЬФАТОВ ИЗ ОКАТЫШЕЙ Ряполов В.В., Пивикова М.С. ....	47
<b>СЕКЦИЯ №8.</b> <b>ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00) .....</b>	<b>50</b>
<b>СЕКЦИЯ №9.</b> <b>АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10).....</b>	<b>50</b>
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «АСКМ-М» Шалумов А.С. <sup>1</sup> , Шалумов М.А. <sup>2</sup> , Ильин С.А. <sup>1</sup> .....	50
<b>СЕКЦИЯ №10.</b> <b>СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00) .....</b>	<b>54</b>
МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД Болотов Г.С. ....	55
<b>СЕКЦИЯ №11.</b> <b>ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00).....</b>	<b>60</b>
<b>СЕКЦИЯ №12.</b> <b>ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00).....</b>	<b>60</b>
<b>СЕКЦИЯ №13.</b> <b>ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00).....</b>	<b>60</b>
<b>СЕКЦИЯ №14.</b> <b>ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00) .....</b>	<b>60</b>
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ ГРАНИЦ ОБЛАСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ Шалумов М.А., Шалумов А.С. ....	60
<b>СЕКЦИЯ №15.</b> <b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00).....</b>	<b>68</b>
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ Квашнин Д.А. ....	68
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ Квашнин Д.А. ....	71
<b>СЕКЦИЯ №16.</b> <b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ</b> <b>БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ</b> <b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00).....</b>	<b>74</b>

НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ГП «КАЛУГА ОБЛВОДОКАНАЛ» Крылова Л.А., Яковлева О.В. ....	75
<b>СЕКЦИЯ №17.</b> <b>ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12).....</b>	<b>77</b>
ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ Самышева Е.Ю., Квон Г.М., Мухаметшин Р.З. ....	77
<b>СЕКЦИЯ №18.</b> <b>ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23).....</b>	<b>82</b>
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Карпенко С.М. ....	82
<b>СЕКЦИЯ №19.</b> <b>НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08).....</b>	<b>85</b>
<b>СЕКЦИЯ №20.</b> <b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05).....</b>	<b>85</b>
ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫЙ КОНТЕКСТ ПРИ АНАЛИЗЕ ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Кулакина Н.С., Хахалин Г.К. ....	85
<b>СЕКЦИЯ №21.</b> <b>МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08).....</b>	<b>87</b>
ОПИСАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ЧИСЛА ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В БАЗЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ Артюшина Т.Г. ....	87
<b>ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД.....</b>	<b>92</b>

## СЕКЦИЯ №1.

### ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01)

## СЕКЦИЯ №2.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00)

#### ОБОБЩЕНИЯ МЕТОДА НЕЧЕТКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Алексеев Ф.Ф.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, РФ, г. Казань

Метод нечетких преобразований И. Перфильевой обобщается для нечетких матриц-функций нескольких переменных. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №15-41-02465/2017.

#### 1. МЕТОД НЕЧЕТКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Метод нечетких преобразований разработан в работах И.Перфильевой. Рассмотрим сначала алгоритм восстановления экспериментально заданных функций.

##### 1.1. Алгоритм восстановления экспериментально заданной функции нескольких переменных

1. Вводится множество  $P = \{p_1, \dots, p_l\}$  линейно упорядоченных точек:  $p_1 \leq \dots \leq p_l$  по каждой переменной, по которым получены экспериментальные данные. Вводится множество экспериментально полученных значений восстанавливаемой функций. Предполагаем, что множество  $P = \{p_1, \dots, p_l\}$  линейно упорядочено:  $p_1 \leq \dots \leq p_l$ . В противном случае проводится упорядочение дискретного множества экспериментально полученных данных. Задается точность аппроксимации  $\varepsilon > 0$ .

2. Требуемой нечеткое разбиение получается выбором узлов разбиения  $x_1, \dots, x_{n_\varepsilon}$ ,  $n_\varepsilon \leq l$ . Задаются базисные функции.

3. Алгоритм выбора узлов  $x_1, \dots, x_{n_\varepsilon}$  среди узлов множества точек P:

4.2.  $k = 0$ ;  $k := k + 1$ . Положим  $x_k := \min P$ ,  $P := P \setminus \{x_k\}$ . Если  $P = \emptyset$ , тогда stop.

4.3. Если множество  $P' = \{p \in P : x_k < p \ \& \ |f(p) - f(x_k)| < \varepsilon / 2\}$  непустое, тогда положим  $k := k + 1$ ,  $x_k := \max P'$  и  $P := P \setminus P'$ . Если  $P' = \emptyset$ , тогда идти к пункту 3.2. в противном случае. положим  $n_\varepsilon = k$  и stop.

5. Вычисляем приближение восстанавливаемой функции. Сравниваем результат по точности  $\varepsilon$ . Если заданная точность достигнута, то stop. Если заданная точность не достигнута, то продолжаем уточнение.

Увеличиваем число используемых узлов разбиения  $n_\varepsilon$ . Идти к пункту 2.

#### 1.2 Обобщенные нечеткие преобразования с приложением к аппроксимации нечетких функций

В нечетком управлении мы работаем с неточными (нечеткими) данными и четкой функцией, описывающими некоторый процесс как нечеткое отношение. Любое нечеткое отношение может быть рассмотрено как нечеткая функция. Отсюда следует необходимость распространения метода F-преобразований для нечетких функций для использования в нечетком управлении. Предлагаемое развитие теории нечетких преобразований основано на работах И. Перфильевой и др., где были изложены результаты для функций одной переменной.

Рассматривается функция  $f(x, y)$  двух переменных, непрерывная на  $[a, b] \times [c, d]$ . Выбираем базисные функции  $A_1, \dots, A_n$ , определяющие нечеткое разбиение интервала  $[a, b]$ , и, аналогично, базисные функции  $B_1, \dots, B_m$ , определяющие нечеткое разбиение интервала  $[c, d]$ . Формулы для прямого F-преобразования и обратного F-преобразования определяются следующим образом:

$$F_{ij} = \int_a^b \int_c^d f(x, y) A_i(x) B_j(y) dx dy / \int_a^b \int_c^d A_i(x) B_j(y) dx dy, \quad (1.1)$$

$$f_{n,m}^F(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} A_i(x) B_j(y). \quad (1.2)$$

**Обобщение метода нечетких преобразований на нечеткие функции.**

При нечетком управлении мы работаем с нечеткими данными и четкой управляющей функцией  $f: X \rightarrow Y$ , описываемых бинарным нечетким отношением  $\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ , где  $X, Y$  – замкнутые интервалы на вещественной оси. Любое бинарное нечеткое отношение может рассматриваться как отображение (нечеткая функция)

$$\Phi: X \rightarrow [0, 1]^Y, \quad (1.3)$$

которое определяет нечеткое множество  $\Phi(x)$  в  $Y$  в каждом узле  $x \in X$ .

На нечеткую функцию  $\Phi$  наложим некоторые требования: ограничиваем использование обобщенных F-преобразований на нечеткие функции, обладающих в некотором смысле свойствами непрерывности и выпуклости.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.4.** Пусть  $\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]$  – нечеткая функция, где  $X, Y$  – закрытые интервалы на вещественной оси. Кроме того, пусть  $\Phi(x)$  – выпуклое нечеткое множество для все  $x \in X$ . Тогда  $\Phi$  назовем  $\alpha$ -непрерывной, если для всех  $\alpha \in [0, 1]$   $\varphi_\alpha^+(x)$  и  $\varphi_\alpha^-(x)$  непрерывны на  $X$ , где

$$\varphi_\alpha^+(x) = \vee_{y \in Y} \{y : y \in \Phi(x)_\alpha\}, \quad (1.4)$$

$$\varphi_\alpha^-(x) = \wedge_{y \in Y} \{y : y \in \Phi(x)_\alpha\}. \quad (1.5)$$

Кроме того, если  $\Phi(x)$  – нечеткое множество с одноэлементным ядром для всех  $x \in X$ , тогда  $\varphi_\alpha^+(x) = \varphi_\alpha^-(x)$ ; и мы пишем только  $\varphi(x)$ .

Применяя принцип расширения Заде, получаем следующую формулу для компонент обобщенных нечетких преобразований:

$$\mathfrak{F}(y) = \vee_{\xi \in Y^X} ; [(\int_X \xi(x) A_i(x) dx) / (\int_X A_i(x) dx)] = y (\wedge_{x \in X} \Phi(x)(\xi(x))). \quad (1.6)$$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.5.** Пусть  $\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]^Y$  –  $\alpha$ -непрерывная нечеткая функция и  $A_1(x), \dots, A_n(x)$  – базисные функции, формирующие нечеткое разбиение  $X$ . Говорим, что  $n$ -ка нечетких множеств  $[\mathfrak{F}_1(y), \dots, \mathfrak{F}_n(y)]$  на  $Y$  является обобщенным прямым F-преобразованием  $\Phi$  относительно  $A_1(x), \dots, A_n(x)$ , если

$$\mathfrak{F}(y) = \vee_{\xi \in Y^X} ; [(\int_X \xi(x) A_i(x) dx) / (\int_X A_i(x) dx)] = y (\wedge_{x \in X} \Phi(x)(\xi(x))). \quad (1.7)$$

Так как в определении требуется  $\alpha$ -непрерывность  $\Phi$ , необходимо рассмотреть все функции  $\xi \in Y^X$ . Достаточно рассмотреть функции  $\xi$ , которые или равны  $\varphi_\alpha^+(x)$  или равны  $\varphi_\alpha^-(x)$  для некоторых  $\alpha \in [0,1]$ . Это упрощает формулу, и мы получаем

$$\mathfrak{I}_i(y^+) = \alpha, \text{ где } y^+ = \int_X \varphi_\alpha^+(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx, \quad (1.8)$$

$$\mathfrak{I}_i(y^-) = \alpha, \text{ где } y^- = \int_X \varphi_\alpha^-(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx, \quad (1.9)$$

Далее рассматриваются два специальных упрощенных случая, где требуется не только  $\alpha$ -непрерывность и снова требуется одноэлементность ядра  $\Phi$ . В первом случае для всех  $\alpha \in (0,1)$ :  $\varphi_\alpha^+(x) = \varphi(x) + \varepsilon_\alpha^+$  и  $\varphi_\alpha^-(x) = \varphi(x) + \varepsilon_\alpha^-$ , где  $\varepsilon_\alpha^+$  и  $\varepsilon_\alpha^-$  вещественные числа. Отсюда следует

$$y^+ = \int_X \varphi_\alpha^+(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx = \int_X \varphi(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx + \int_X \varepsilon_\alpha^+ A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx = F_i + \varepsilon_\alpha^+, \quad (1.10)$$

где  $F_i = \int_X \varphi(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx$ . Аналогично,  $y^- = F_i + \varepsilon_\alpha^-$ .

Во втором случае предполагаются те же самые условия, что и в первом случае, и дополнительно предполагается симметрия, что означает  $\varepsilon_\alpha^+ = \varepsilon_\alpha^-$ .

И, наконец, определим обобщенное обратное F-преобразование, чтобы получить аппроксимацию начальной нечеткой функции  $\Phi$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.6.** Пусть  $[\mathfrak{I}_1(y), \dots, \mathfrak{I}_n(y)]$  – обобщенное прямое F-преобразование нечеткой функции  $\Phi$  при заданных базисных функциях  $A_1, \dots, A_n$ . Тогда нечеткая функция

$$\Phi_n^F(x)(y) = \sum_{i=1}^n \mathfrak{I}_i(y) A_i(x) \quad (1.11)$$

называется обобщенным обратным F-преобразованием.

Алгоритм восстановления экспериментально заданной функции определяется подобно вышеприведенному методу.

**Нечеткие функции с несколькими переменными.** В нечетком управлении обычно встречается ситуация, где управляющая функция зависит от нескольких переменных. Необходимо обобщить F-преобразования для нечетких функций с несколькими переменными.

Сначала рассматривается случай нечетких функций двух переменных. задается  $\alpha$ -непрерывная нечеткая функция  $\Phi : U \times V \rightarrow Y$ , где  $U, V, Y$  – закрытые интервалы на вещественной оси. Обобщение конструируется тем же способом, что и в случае нечеткой функции одной переменной. Конструируем базисные функции  $A_1, \dots, A_n$  и  $B_1, \dots, B_m$ , определяющие нечеткие разбиения  $U, V$ , соответственно. И получаем следующую формулу

$$\mathfrak{I}_{ij}(y) = \vee_D (\wedge_{(u,v) \in U \times V} \Phi(u,v)(\xi(u,v))), \quad (1.12)$$

для обобщенного прямого F-преобразования функции  $\Phi(u,v)$ , где область  $D$  определяется следующим образом

$$D = \{ \xi \in Y^{U \times V}; [\int_V \int_U \xi(u,v) A_i(u) B_j(v) dudv) / (\int_V \int_U A_i(u) B_j(v) dudv) = y \} \quad (1.13)$$

Для обобщенного обратного F-преобразования функции  $\Phi(u,v)$  получаем следующую формулу

$$\Phi_{n,m}^F(u,v)(y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathfrak{F}_{ij}(y) A_i(u) B_j(v), \quad (1.14)$$

## 2. Нечеткие преобразования для матриц-функций

**Матрица-функция нескольких переменных.** Матрицы-функции используются в приложениях при исследовании динамики на основе линеаризованных уравнений, а также при представлении экспериментальных данных (БД) для параметров и характеристик объекта. Пусть  $A = A(t, x_1, \dots, x_k)$  непрерывная матрица-функция с  $k+1$  переменными  $t, x_1, \dots, x_n$  определена на  $[a_0, b_0] \times [a_1, b_1] \times \dots \times [a_k, b_k]$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.1.** Пусть  $x_j^{(i_j)} = a_{j(i_j-1)} + h_j$  узлы на  $[a_j, b_j]$ , где  $h_j = (b_j - a_j) / (n_j - 1)$ ,  $n_j \geq 2$ ,  $j = 0, 1, \dots, k$ . Говорим, что функции  $\{A_j^{(i_j)}(x_j)\}$  определяют систему базисных функций, если выполняются следующие условия:

- $A_j^{(i_j)} : [a_j, b_j] \rightarrow [0, 1]$ ;  $A_j^{(i_j)}(x_j^{(i_j)}) = 1$ ;
- $A_j^{(i_j)}(x_j) = 0$ , если  $x_j \notin (x_j^{(i_j-1)}, x_j^{(i_j+1)})$ , где для общности определения положим  $x_j^{(0)} = a_j$  и  $x_j^{(n_j+1)} = b_j$ ;
- $A_j^{(i_j)}(x_j)$  непрерывные функции;
- $A_j^{(i_j)}(x_j)$  монотонно возрастает на  $[x_j^{(i_j-1)}, x_j^{(i_j)}]$  и монотонно убывает на  $[x_j^{(i_j)}, x_j^{(i_j+1)}]$ ;
- $\sum_{i_0=1}^{n_0} \sum_{i_1=1}^{n_1} \dots \sum_{i_k=1}^{n_k} A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k) = 1$  для всех (2.1)  $x_j \in [a_j, b_j]$ ;
- $A_j^{(i_j)}(x_j^{(i_j)} - x_j) = A_j^{(i_j)}(x_j^{(i_j)} + x_j)$  для всех  $x_j \in [0, h_j]$ ,  $i_j = 2, \dots, n_j - 1$ ,  $n_j > 2$ ;
- $A_j^{(i_j+1)}(x_j) = A_j^{(i_j)}(x_j - h_j)$  для всех  $x_j \in [a_j + h_j, b_j]$ ,  $i_j = 2, \dots, n_j - 2$ ,  $n_j > 2$ .

Для упрощения конструирования базисных функций потребуем выполнения  $k$  подусловий вместо 5-го условия

$$\sum_{i_j=0}^{n_j} A_j^{(i_j)}(x_j) = 1 \text{ для всех } x_j \in [a_j, b_j], \text{ где } j = 1, \dots, k. \quad (2.2)$$

**ЗАМЕЧАНИЕ 2.2.** Вид базисных функций не ограничивается. Можно использовать известные полиномиальные функции (специальный вид – триангулярные функции) или синусоидальные базисные функции. Можно использовать различные базисные функции по разным осям.

**УТВЕРЖДЕНИЕ 2.3.** Если  $\{A_j^{(i_j)}(x_j)\}$  является системой базисных функций на множестве  $[a_0, b_0], [a_1, b_1] \times \dots \times [a_k, b_k]$ , тогда

$$\int_{a_0}^{b_0} \int_{a_1}^{b_1} \dots \int_{a_k}^{b_k} A_0^{(i_0)} A_1^{(i_1)} \dots A_k^{(i_k)} dx_0 dx_1 \dots dx_k = (h_0 h_1 \dots h_k) / (2^N), \quad (2.3)$$

где  $N$  является частотой события  $i_j = 1$  или  $i_j = n_j$  для всех  $j = 1, \dots, k$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.4.** Пусть  $f(x_0, \dots, x_k)$  – произвольная непрерывная функция на  $D = [a_0, b_0] \times [a_1, b_1] \times \dots \times [a_k, b_k]$  и  $\{A_j^{(i_j)}(x_j)\}$  – система базисных функций. Говорим, что  $n_1 n_2 \dots n_k$ -ка  $[F^{(i_1 \dots i_k)}]$  действительных чисел является прямым  $F$ -преобразованием функции для заданной системы базисных функций, если

$$F = \frac{\int_{a_0}^{b_0} \int_{a_1}^{b_1} \dots \int_{a_k}^{b_k} f(t, x_1, \dots, x_k) A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k) dx_0 dx_1 \dots dx_k}{\int_{a_0}^{b_0} \int_{a_1}^{b_1} \dots \int_{a_k}^{b_k} A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k) dx_0 dx_1 \dots dx_k}. \quad (2.4)$$

И подобно случаю функции одной переменной, если система базисных функций фиксирована, обозначим прямое  $F$ -преобразование функции  $f$   $F^{(k)}[f]$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.5.** Пусть  $F^{(k)}[f]$  – прямое  $F$ -преобразование функции  $f(t, x_1, \dots, x_k)$ . Тогда функцию

$$f_F^{(n_0, n_1, \dots, n_k)}(t, x_1, \dots, x_k) = \sum_{i_0=1}^{n_0} \sum_{i_1=1}^{n_1} \dots \sum_{i_k=1}^{n_k} F^{(n_0, n_1, \dots, n_k)} A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k) \quad (2.5)$$

будем называть обратным  $F$ -преобразованием.

**Свойства  $F$ -преобразований.** Если система базисных функций фиксирована, тогда прямое  $F$ -преобразование является линейным отображением из  $C(D)$  в  $R^{n_0 n_1 \dots n_k}$ , т.е.

$$F^k[\alpha f + \beta g] = \alpha F^k[f] + \beta F^k[g] \quad (2.6)$$

где  $\alpha, \beta \in R$  и  $f, g \in C(D)$ .

Из следующего утверждения следует, что последовательность функций  $A_F^{(n_0 n_1 \dots n_k)}(t, x_1, \dots, x_n)$  для  $n_j \rightarrow \infty, j=0, 1, \dots, k$ , равномерно сходится к  $A(t, x_1, \dots, x_n)$ .

**УТВЕРЖДЕНИЕ 2.6.** Пусть  $A(t, x_1, \dots, x_n)$  – произвольная непрерывная матрица-функция на  $D = [a_0, b_0] \times [a_1, b_1] \times \dots \times [a_k, b_k]$  и пусть  $\{A_j^{(i_j)}(x_j)\}_{n_j}$  последовательность систем базисных функций на  $D$ . Пусть  $A_F^{(n_0 n_1 \dots n_k)}(t, x_1, \dots, x_n)$  – последовательность обратных  $F$ -преобразований для заданной последовательности системы базисных функций. Тогда для любого  $\varepsilon > 0$  существует  $n_j(\varepsilon)$  такое, что для каждого  $n_j > n_j(\varepsilon)$  и для всех  $(t, x_1, \dots, x_k) \in D$

$$\|A(t, x_1, \dots, x_n) - A_F^{(n_0 n_1 \dots n_k)}(t, x_1, \dots, x_n)\| < \varepsilon. \quad (2.7)$$

Справедливость утверждения следует из того, что матрица-функция  $A(t, x_1, \dots, x_n)$  является непрерывной, для каждого  $\varepsilon > 0$  можно найти  $\delta > 0$  такое, что для всех  $P, Q \in D$ ,  $\|P - Q\| < \delta$ , следует  $\|A(P) - A(Q)\| < \varepsilon$ . Положим  $n_j \geq 2$  и  $h_j = (b_j - a_j) / (n_j(\varepsilon) - 1) \leq \delta / \sqrt{k}$ .

Пусть  $(s, z_1, \dots, z_k)$  произвольный элемент из множества  $[t^{(i_0)}, t^{(i_0+1)}] \times [x_1^{(i_1)}, x_1^{(i_1+1)}] \times \dots \times [x_k^{(i_k)}, x_k^{(i_k+1)}]$ . Тогда

$$\begin{aligned} \|A(s, z_1, \dots, z_k) - F^{(i_0 i_1 \dots i_k)}\| &< \varepsilon, \|A(s, z_1, \dots, z_k) - F^{((i_0+1) i_1 \dots i_k)}\| < \varepsilon, \\ \|A(s, z_1, \dots, z_k) - F^{(i_0 (i_1+1) \dots i_k)}\| &< \varepsilon, \dots, \|A(s, z_1, \dots, z_k) - F^{(i_0 i_1 \dots (i_k+1))}\| < \varepsilon. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Кроме того факта, что обратное F-преобразование равномерно сходится к начальной функции, необходим критерий, который гарантирует, что обратное F-преобразование является наилучшей аппроксимацией. Пусть  $A_1^{(i_1)}, \dots, A_k^{(i_k)}$  базисные функции и  $A(t, x_1, \dots, x_n)$  интегрируемая функция. Рассмотрим класс аппроксимирующих функций, представленных следующими формулами

$$\sum_{i_0=1}^{n_0} \sum_{i_1=1}^{m_1} \dots \sum_{i_k=1}^{n_k} c^{(i_0 i_1 \dots i_k)} A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k), \quad (2.9)$$

где  $c^{(i_0 i_1 \dots i_k)}$  матрицы, размерности матрицы-функции  $A(t, x_1, \dots, x_n)$ .

Теперь рассмотрим следующий критерий

$$\begin{aligned} \Phi(c^{(i_0 i_1 \dots i_k)}) &= \int_D \sum_{i_0=1}^{n_0} \sum_{i_1=1}^{m_1} \dots \sum_{i_k=1}^{n_k} (A(t, x_1, \dots, x_n) - c^{(i_0 i_1 \dots i_k)})^2 \times \\ &\times A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k) dt dx_1 \dots dx_k, \end{aligned} \quad (2.10)$$

интегрально характеризующий близость между  $A(t, x_1, \dots, x_n)$  и аппроксимирующей функцией класса

$$\sum_{i_0=1}^{n_0} \sum_{i_1=1}^{m_1} \dots \sum_{i_k=1}^{n_k} c^{(i_0 i_1 \dots i_k)} A_0^{(i_0)}(t) A_1^{(i_1)}(x_1) \dots A_k^{(i_k)}(x_k). \quad (2.11)$$

Здесь матрица  $(A(t, x_1, \dots, x_n) - c^{(i_0 i_1 \dots i_k)})^2$  означает поэлементное возведение элементов матрицы  $A(t, x_1, \dots, x_n) - c^{(i_0 i_1 \dots i_k)}$  во вторую степень. Коэффициенты  $F^{(i_0 i_1 \dots i_k)}$  прямого F-преобразования определяются минимизацией критерия  $\Phi(c^{(i_0 i_1 \dots i_k)})$ .

Матрицу-функцию и все рассмотренные для нее конструкции можно обобщить на нечеткие матрицы-функции и разрывные матрицы-функции.

Рассмотренные прямые и обратные F-преобразования позволяют учесть неопределенности, естественно возникающие в технических системах. На основе F-преобразований могут быть построены универсальные алгоритмы идентификации параметров и характеристик рассматриваемых объектов.

**Обобщенные нечеткие преобразования с приложением к аппроксимации нечетких матриц-функций**

В работах И.Перфильевой и др. рассмотрены обобщенные нечеткие преобразования с приложением к аппроксимации нечетких матриц-функций с несколькими переменными. Показывается, как предложенный метод может быть использован для получения нечеткой базы правил для нечеткого управления.

В нечетком управлении мы работаем с неточными (нечеткими) данными и четкой матрицей-функцией, описывающими некоторый процесс как нечеткое матричное отношение. Любое нечеткое отношение может

быть рассмотрено как нечеткая функция. Отсюда следует необходимость распространения метода F-преобразований для нечетких матриц-функций для использования в нечетком управлении. Предлагаемое развитие теории нечетких преобразований основано на работах И.Перфильевой и др., где были изложены результаты для функций одной переменной.

**Обобщение метода нечетких преобразований на нечеткие матрицы-функции двух переменных.** Сначала рассматривается функция  $A(x, y)$  двух переменных, непрерывная на  $[a, b] \times [c, d]$ . Выбираем базисные функции  $A_1, \dots, A_n$ , определяющие нечеткое разбиение интервала  $[a, b]$ , и, аналогично, базисные функции  $B_1, \dots, B_m$ , определяющие нечеткое разбиение интервала  $[c, d]$ . Формулы для прямого F-преобразования и обратного F-преобразования определяются следующим образом:

$$F_{ij} = \int_a^b \int_c^d A(x, y) A_i(x) B_j(y) dx dy / \int_a^b \int_c^d A_i(x) B_j(y) dx dy, \quad (2.12)$$

$$A_{n,m}^F(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} A_i(x) B_j(y). \quad (2.13)$$

**Обобщение метода нечетких преобразований на нечеткие матрицы-функции.** При нечетком управлении мы работаем с нечеткими данными и четкой управляющей функцией  $A: X \rightarrow Y$ , описываемых бинарным нечетким отношением  $\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ , где  $X, Y$  – замкнутые интервалы на вещественной оси. Любое бинарное нечеткое отношение может рассматриваться как отображение (нечеткая функция)

$$\Phi: X \rightarrow [0, 1]^Y, \quad (2.14)$$

которое определяет нечеткое множество  $\Phi(x)$  в  $Y$  в каждом узле  $x \in X$ .

На нечеткую матрицу-функцию  $M\Phi$  наложим некоторые требования: ограничиваем использование обобщенных F-преобразований только для нечетких функций, обладающих в некотором смысле свойствами непрерывности и выпуклости.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.6.** Пусть  $M\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]$  – нечеткая матрица-функция, где  $X, Y$  – закрытые интервалы на вещественной оси. Кроме того, пусть  $M\Phi(x)$  – выпуклое нечеткое множество для все  $x \in X$ . Тогда  $M\Phi$  назовем  $\alpha$ -непрерывной, если для всех  $\alpha \in [0, 1]$   $M\varphi_\alpha^+(x)$  и  $M\varphi_\alpha^-(x)$  непрерывны на  $X$ , где

$$M\varphi_\alpha^+(x) = \vee_{y \in Y} \{y : y \in M\Phi(x)_\alpha\}, \quad (2.15)$$

$$M\varphi_\alpha^-(x) = \wedge_{y \in Y} \{y : y \in M\Phi(x)_\alpha\}. \quad (2.16)$$

Кроме того, если  $M\Phi(x)$  – нечеткое множество с одноэлементным ядром для всех  $x \in X$ , тогда  $M\varphi_\alpha^+(x) = M\varphi_\alpha^-(x)$ , и мы пишем только  $M\varphi(x)$ .

Применяя принцип расширения Заде, получаем следующую формулу для компонент обобщенных нечетких преобразований:

$$M\zeta(y) = \vee_{\xi \in Y^X} \{(\int_X \xi(x) A_i(x) dx) / (\int_X A_i(x) dx) = y\} (\wedge_{x \in X} M\Phi(x)(\xi(x))). \quad (2.17)$$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.7.** Пусть  $M\Phi: X \times Y \rightarrow [0, 1]^Y$  –  $\alpha$ -непрерывная нечеткая матрица-функция и  $A_1(x), \dots, A_n(x)$  – базисные функции, формирующие нечеткое разбиение  $X$ . Говорим, что

$n$ -ка нечетких множеств  $[M \mathfrak{S}_1(y), \dots, M \mathfrak{S}_n(y)]$  на  $Y$  является обобщенным прямым  $F$ -преобразованием  $M\Phi$  относительно  $A_1(x), \dots, A_n(x)$ , если

$$M \mathfrak{S}(y) = \bigvee_{\xi \in Y^X} [(\int_X \xi(x) A_i(x) dx) / (\int_X A_i(x) dx)] =_{yX} (\bigwedge_{x \in X} M\Phi(x)(\xi(x))). \quad (2.18)$$

Т.к. в определении требуется  $\alpha$ -непрерывность  $M\Phi$ , необходимо, вообще говоря, рассмотреть все функции  $\xi \in Y^X$ . Но достаточно рассмотреть функции  $\xi$ , которые или равны  $M\varphi_\alpha^+(x)$  или равны  $M\varphi_\alpha^-(x)$  для некоторых  $\alpha \in [0, 1]$ . Это упрощает формулу, и мы получаем

$$M \mathfrak{S}_i(y^+) = \alpha, \text{ где } y^+ = \int_X M\varphi_\alpha^+(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx, \quad (2.18)$$

$$M \mathfrak{S}_i(y^-) = \alpha, \text{ где } y^- = \int_X M\varphi_\alpha^-(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx, \quad (2.19)$$

Далее рассматриваются два специальных упрощенных случая, где требуется не только  $\alpha$ -непрерывность и одноэлементность ядра  $\Phi$ . В первом случае для всех  $\alpha \in (0, 1)$ :  $M\varphi_\alpha^+(x) = M\varphi(x) + \varepsilon_\alpha^+$  и  $M\varphi_\alpha^-(x) = M\varphi(x) + \varepsilon_\alpha^-$ , где  $\varepsilon_\alpha^+$  и  $\varepsilon_\alpha^-$  вещественные матрицы. Отсюда следует:

$$y^+ = \int_X M\varphi_\alpha^+(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx = \int_X M\varphi(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx + \int_X \varepsilon_\alpha^+ A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx = F_i + \varepsilon_\alpha^+, \quad (2.20)$$

где

$$F_i = \int_X M\varphi(x) A_i(x) dx / \int_X A_i(x) dx. \quad (2.21)$$

Аналогично,  $y^- = F_i + \varepsilon_\alpha^-$ .

Во втором случае предполагаются те же самые условия, что и в первом случае, и дополнительно предполагается симметрия, что означает  $\varepsilon_\alpha^+ = \varepsilon_\alpha^-$ .

И, наконец, определим обобщенное обратное  $F$ -преобразование, чтобы получить аппроксимацию начальной нечеткой матрицы-функции  $M\Phi$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.8.** Пусть  $[M \mathfrak{S}_1(y), \dots, M \mathfrak{S}_n(y)]$  – обобщенное прямое  $F$ -преобразование нечеткой матрицы-функции  $M\Phi$  при заданных базисных функциях  $A_1, \dots, A_n$ . Тогда нечеткая матрица-функция

$$M\Phi_n^F(x)(y) = \sum_{i=1}^n M \mathfrak{S}_i(y) A_i(x) \quad (2.22)$$

называется обобщенным обратным  $F$ -преобразованием.

### 3. Синтез нечеткой логической системы управления

Нечеткая логическая система управления состоит из динамического процесса и нечеткого логического регулятора. Пусть  $X \in R^n$ . Система управления характеризуется как нелинейная система с несколькими входами, моделируемой системой

$$\dot{x} = f(x) + b(x)u, \quad x(t_0) = x_0 \quad (3.1)$$

$x \in X, x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$  - вектор состояния;  $f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T$  - нелинейный вектор,  $b(x) = \left\| b_{ij} \right\|_{i=1, n; j=1, m}$  - матрица с нелинейными элементами, описывающие динамику системы управления;  $u$  - управление, полученное дефазификацией методом центров тяжести для  $T-S$  систем.

$FLC$  состоит из  $r$  нечетких  $IF-THEN$  правил. Правило в  $T-S$  системе записывается в виде

$$\begin{aligned} & \text{RULE } i: \text{IF } \Psi_1(x) \text{ is } X_{\Psi_{1,l}} \text{ AND } \dots \text{ AND } \Psi_l(x) \text{ is } X_{\Psi_{l,l}} \\ & \text{THEN } u = u_i(x), i = 1, 2, \dots, r; r \in N, \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $\Psi_{ij}(x), j = 1, 2, \dots, l$  нечеткие множества,  $u = u_i(x)$  - управление, определяемое  $i$ -м правилом.

Каждое нечеткое правило генерирует  $\alpha_i \in [0, 1], i = 1, 2, \dots, r$ , согласно  $\alpha_i(x) = \min\{\mu_{\Psi_{1,l}}(\Psi_1(x)), \mu_{\Psi_{1,2}}(\Psi_2(x)), \dots, \mu_{\Psi_{l,l}}(\Psi_l(x))\}$  - функции принадлежности.

Управление  $u$ , которое должно быть применено в процессе, является функцией  $\alpha_i$  и  $u_i$ . Выход  $FLC$  задается

$$u = \frac{\sum_{i=1}^r \alpha_i u_i}{\sum_{i=1}^r \alpha_i} \quad (3.3)$$

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.1** Если для некоторых  $x_0 \in X, \alpha_i(\Psi(x_0))$ , соответствующее нечеткому правилу  $i$ , есть нуль, то нечеткое правило  $i$  называется неактивным нечетким правилом для входа  $x_0$ ; в противном случае правило называется активным нечетким правилом.

В силу этого

$$u = \frac{\sum_{i=1}^r A_i u_i}{\sum_{i=1}^r A_i}, A_i = \alpha_i. \quad (3.4)$$

Проведем синтез нечеткого логического регулятора для системы вида  $\dot{x} = Ax + B\varphi(\sigma, t) + B_1 u(\sigma), \sigma = Cx$  (3.5)

$A - n \times n, B - n \times m, B_1 - n \times m_1, C - m \times n$  - постоянные матрицы.

$x \in R^n, \sigma \in R^m, u \in R^{m_1}, \varphi^T(\sigma, t) = \{\varphi_1(\sigma_1, t), \varphi_2(\sigma_2, t), \dots, \varphi_m(\sigma_m, t)\}, \varphi(\sigma, t) \in \{0 \leq \sigma_j \varphi_j(\sigma_j, t) \leq k_j \sigma_j^2, j = 1, 2, \dots, m\}$ .

Проведем синтез управления для системы (3.5) на основе принципа сравнения с применением метода векторных функций Ляпунова с помощью абсолютной системы сравнения (СС). Введем СС вида

$$\dot{x}_c = A_c x_c + \sum_{j=1}^{m_c} b_j^c \varphi_j^c(\sigma_j^c, t), \quad \sigma_j^c = (c_j^c, x_c), \quad (3.6)$$

где  $x_c \in R^{n_c}, \sigma_c \in R^{m_c}$ ; правая часть (3.6) удовлетворяет условиям Важевского;  $\varphi_j^c \in C_{\sigma_c}^{(1)}, j = \overline{1, m_c}; 0 \leq \sigma_j^c \varphi_j^c(\sigma_j^c, t) \leq k_j^c \sigma_j^c, j = \overline{1, m_c} (\varphi^c \in N_\varphi)$ . СС назовем абсолютной СС в классе  $N_\varphi (N_\varphi \supset \varphi, N_\varphi \supset \varphi^c)$ .

Воспользуемся ВФЛ вида (3.5)  $v_k = x^T P_k x$ ,  $k = \overline{1, m_c}$ . Перепишем СС (3.6): в виде

$\dot{x}_c = A_c x_c + B^e \varphi^e$ ,  $\sigma_j^c = C^c x_c$ ; вычислим производные компонент ВФЛ в силу системы (3.5):

$$v_k = x^T G_k x + 2x^T P_k \varphi + 2x^T P_k B_1 u, \quad G_k = A^T P_k + P_k A.$$

**ЗАМЕЧАНИЕ.** Здесь рассматривается простейший случай, когда матрицы в модели систем управления не зависят от параметров функций принадлежности, т.е. не являются неопределенными. В случае неопределенных систем управления понадобится во всем объеме изложенная теория.

Если выполняются неравенства

$$x^T G_i x + 2x^T P_i \varphi + 2x^T P_i B_1 u \leq a_{i1}^c P_1 x + \dots + a_{in_c}^c x^T P_{n_c} x + b_{i1}^c \varphi_1^c + \dots + b_{im_c}^c \varphi_{m_c}^c, \quad i = \overline{1, n_c},$$

$$\sigma = Cx, \quad \sigma_j^c = c_{j1}^c x^T P_1 x + \dots + c_{jn_c}^c x^T P_{n_c} x, \quad j = \overline{1, m_c}, \quad (3.7)$$

то система (3.6) является СС для системы (3.5). Перепишем (3.7) в следующем виде:

$$x^T P_{ci} x + b_{i1}^c \varphi_1^c + \dots + b_{im_c}^c \varphi_{m_c}^c - x^T G_i x - 2x^T P_i B \varphi - 2x^T P_i B_1 u \geq 0, \quad i = \overline{1, n_c},$$

$$\sigma = Cx, \quad \sigma_j^c = x^T P_{cj} x, \quad j = \overline{1, m_c}, \quad \text{где } P_{ci} = a_{i1}^c P_1 + \dots + a_{in_c}^c P_{n_c}, \quad P_{cj} = c_{j1}^c P_1 + \dots + c_{jn_c}^c P_{n_c}.$$

Аналогично предыдущему разделу получим

$$2x^T P_i B_1 u \leq x^T P_{ci} x + b_{i1}^c \varphi_1^c + \dots + b_{im_c}^c \varphi_{m_c}^c - x^T G_i x - 2x^T P_i B \varphi, \quad i = \overline{1, n_c}.$$

Далее аналогично запишем  $Su \leq R$ ,  $S = \left\| s_{ij} \right\|, i=1, m; j=1, m, \left\| s_{11} \quad s_{12} \quad \dots \quad s_{1m_c} \right\| =$

$$\left\| 2x^T P_1 B_1 \right\|, \left\| s_{21} \quad s_{22} \quad \dots \quad s_{2m_c} \right\| = \left\| 2x^T P_2 B_1 \right\|, \dots, \left\| s_{m_c 1} \quad s_{m_c 2} \quad \dots \quad s_{m_c m_c} \right\| = \left\| 2x^T P_{m_c} B_1 \right\|,$$

$$R^T = \left\| r_1 \quad r_2 \quad \dots \quad r_{m_c} \right\|, \quad r_1 = x^T P_{c1} x + b_{11}^c \varphi_1^c + \dots + b_{1m_c}^c \varphi_{m_c}^c - x^T G_1 x - x^T G_1 x - 2x^T P_1 B \varphi; \dots;$$

$$x^T P_{ci} x + b_{i1}^c \varphi_1^c + \dots + b_{im_c}^c \varphi_{m_c}^c - x^T G_i x - 2x^T P_i B \varphi; \quad r_{m_c} =$$

$$x^T P_{cm_c} x + b_{m_c 1}^c \varphi_1^c + \dots + b_{m_c m_c}^c \varphi_{m_c}^c - x^T G_{m_c} x - 2x^T P_{m_c} B \varphi,$$

Теперь, аналогично, управление находится из неравенства  $u_i \leq (S^{-1}R)_i, i = 1, 2, \dots, m_c$ .

## Список литературы

1. I.Perfilieva, V.Novak, A.Dvorak. Fuzzy transform in the analysis of data. Int.J. of Approximate Reasoning. 48 (2009)36-46.
2. Ф.Ф.Алексеев, Г.Г.Бильченко, В.М.Бородин. Теоремы об устойчивости управляемых систем. В кн.: Проблемы аналитической механики, устойчивости и управления движением. Новосибирск: Наука, Сиб.отделение, 1991. С. 11-20.

## ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫЕ СЕТИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

**Желенков Б.В.**

доцент, кандидат технических наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет транспорта (МИИТ)»

Основной концепцией программно-конфигурируемых сетей является абстрагирование управления от передачи данных и предоставление возможности любому пользователю (владельцу) сегмента компьютерной сети создавать собственные приложения для ее конфигурации сети.

Идея программно-конфигурируемой сети не является новой. Но данный момент она стала актуальной благодаря повсеместному внедрению цифровых технологий, базирующихся на облачных структурах, в основе которых лежит интенсивный обмен информацией.

Компьютерные сети на современном этапе имеют жесткую иерархическую структуру, оправдывающую себя при использовании клиент-серверных приложений.

Современные приложения получают доступ к данным одновременно с различных серверов, создавая большой объем трафика между узлами сети и серверами.

При этом пользователи могут получать доступ к информации и приложениям с широкого спектра мобильных и стационарных устройств, формируя сетевой трафик. На базе ЦОДов формируются различные облачные структуры, что так же ведет к увеличению сетевого трафика.

В результате, для наилучшего использования облачных технологий и уменьшения нагрузки на сеть, а следовательно, повышения ее производительности, необходим общий стандартный набор сетевых инструментов, а так же централизованный пункт управления сетью, которые позволят динамически конфигурировать сеть под конкретные задачи, решаемые в текущий момент времени.

На данный момент OpenFlow является самым распространенным протоколом для управления сетевым оборудованием в программно-конфигурируемых сетях. Многие производители открывают или заявляют о готовности открытия функционала операционных систем своих устройств. Доступ непосредственно к функционалу сетевых устройств позволяет программировать сеть.

При этом существует три направления развития программно-конфигурируемых сетей – открытый, проприетарный и гибридный.

Открытый подход предполагает использование открытого исходного кода без проприетарных компонентов. Это позволит повысить скорость развития таких сетей.

Появляется возможность создавать виртуальный сетевой оверлей, который почти не связан с физической сетью под ним. Примером может служить Juniper с контроллером для виртуальных сетей – OpenContrail, распространяющийся под open-source лицензией.

Использование открытого исходного кода ускоряют добавление новых сервисов при относительно низких капитальных затратах. Но при этом отсутствует обратная связь с производителем, что усложняет процесс отладки и устранения неисправностей.

Проприетарная концепция отказывается от виртуального сетевого оверлея, который практически отделен от физической сети. Это обусловлено задержками в виртуальных оверлей сетях по сравнению с традиционными системами, связанных с необходимостью дополнительной инкапсуляции, которая снижает производительность и повышает сложность контроля трафика. Данная концепция требует больших затрат, но обеспечивает стабильную работу и техническую поддержку оборудования и программного обеспечения.

Гибридный подход, предполагает использование открытого программного обеспечения и оборудования, но основывается на специализированной технической поддержке производителя или специализирующихся на данной области компаний.

Таким образом реализуется использование открытого программного обеспечения с коммерческой экспертной технической поддержкой, которая характерна для проприетарной концепции.

Использование программно-конфигурируемых сетей позволит:

- повысить управляемость и коэффициент использования сети;
- снизить капитальные затраты;
- повысить гибкость и программируемость сети.

Основная проблема в распространении данной концепции заключается в том, что для внедрения программно-конфигурируемых сетей необходимо заменить существующий парк сетевого оборудования, которое находится в активной эксплуатации и не выработало своего ресурса.

### **СЕКЦИЯ №3. ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00)**

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «ASRUS-M»

Шалумов А.С.<sup>1</sup>, Шалумов М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО "НИИ "АСОНИКА", РФ, г. Москва

<sup>2</sup>Владимирский филиал РАНХиГС, РФ, г. Владимир

Интегральные микросхемы (ИМС) в составе электронных приборов космических, авиационных и других подвижных объектов подвергаются интенсивным механическим воздействиям. Из-за этого резко снижается их надёжность и возникает опасность отказа объекта (ракеты, самолета и др.), который управляется с помощью электронных схем. Нужно прогнозировать надёжность с учетом механических воздействий до изготовления интегральных микросхем и электронных приборов [1, 2].

Для прогнозирования и предотвращения отказов интегральных микросхем из-за механических воздействий разработана автоматизированная подсистема анализа и обеспечения стойкости интегральных микросхем к механическим воздействиям «ASRUS-M».

Подсистема обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчёт механических характеристик произвольных конструкций ИМС при воздействии гармонической вибрации;
- расчёт механических характеристик произвольных конструкций ИМС при воздействии случайной вибрации;
- расчёт механических характеристик произвольных конструкций ИМС при воздействии одиночных ударов;
- расчёт механических характеристик произвольных конструкций ИМС при воздействии многократных ударов;
- расчёт механических характеристик произвольных конструкций ИМС при воздействии линейных ускорений.

Благодаря возможностям подсистемы можно получить: на выходе поля выходных величин (перемещений, ускорений, напряжений), графики амплитудно-частотных и амплитудно-временных характеристик, абсолютные и относительные значения, значения выходных величин в узлах конечно-элементной сетки, процентное превышение напряжений над допустимыми значениями, деформированное состояние конструкций с учетом фактора усиления и анимацию отклика конструкции ИМС на механические воздействия.

Для анализа ИМС на механические воздействия используется метод конечных элементов. Математическое моделирование механических процессов методом конечных элементов включает следующие этапы:

- получение конечно-элементной (КЭ) модели;
- задание свойств материалов;
- задание нагрузок и креплений;
- проведение расчёта;
- просмотр и анализ результатов.

КЭ ИМС может быть получена на основе твердотельной модели (Solid model), построенной конструктором в одной из CAD-систем (SOLID Works, Pro Engineer и т.п.). В процессе КЭ разбиения возникает ряд сложностей:

1. Необходимо обеспечить связность твердотельной модели, импортированной в КЭ среду. Связность понимается как определение формы геометрического контакта между различными частями, из которых состоит микросхема (подложка, шариковые выводы). Чтобы процесс связывания завершился успешно, исходная твердотельная модель не должна иметь пересекающихся частей.

2. КЭ сетка должна быть оптимального размера: не слишком крупной, чтобы погрешность вычислений не оказалась слишком большой, и не слишком мелкой, чтобы избежать растраты ресурсов компьютера.

Процессы связывания и разбиения поддаются автоматизации. Для этих целей был разработан программный интерфейс в подсистеме ASRUS-M, благодаря которому экспортирование, связывание и КЭ

разбиение моделей осуществляются автоматически с минимальными усилиями со стороны пользователя. Работа программного интерфейса основана на автоматической генерации макрокоманд. Макрокоманда представляет собой последовательность команд, записанных в файл для многократного использования.

Геометрическая сложность ИМС на шариковых выводах также существенно осложняет процесс её КЭ моделирования. Эта сложность выражается, прежде всего, в наличии множества мелких элементов (например, части шариковых выводов), тонких слоёв (медный слой на поверхности платы). Число конечных элементов, требуемых для охвата вышеназванных геометрических нелинейностей, может оказаться чрезмерно большим. Как правило, моделирование всегда предполагает некоторое упрощение конструкции. Упрощение конструкции ИМС основывается на следующих соображениях:

- модель ИМС симметрична (две плоскости симметрии), поэтому достаточно смоделировать не всю микросхему, а лишь её четвёртую часть. При этом важно правильно задать закрепления, ограничив степени свободы в плоскостях симметрии;

- слоистая структура подложки ИМС, а также печатной платы может быть смоделирована одним материалом с усреднёнными физическими свойствами. Это не должно существенно повлиять на точность результатов, поскольку основными концентраторами напряжений, а также наиболее уязвимыми частями с точки зрения усталостного разрушения являются шариковые выводы;

- сами же выводы на КЭ модели должны сохранить свою геометрию, и проводить упрощения здесь нецелесообразно.

**Задание свойств материалов.** Модель платы с микросхемой на шариковых выводах состоит из различных частей (шариковый вывод, кремниевый чип, подложка микросхемы, плата и др.) с различными физическими параметрами. Отдельные части (например, подложка) могут иметь ортотропные свойства. Подсистема ASRUS-M позволяет всё это учесть, в ней присутствует база данных со значениями свойств для различных материалов. Для всей конструкции и/или для отдельных деталей задаются параметры материала, необходимые для механического расчёта (плотность, модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент механических потерь (КМП)). Если требуется провести нелинейный анализ (учитывающий зависимость коэффициента механических потерь от напряжения), требуется задать также «коэффициент зависимости КМП от напряжения». Нелинейный расчёт будет выполняться при условии, если по крайней мере для одной детали указан «коэффициент зависимости КМП от напряжения». Для расчёта времени до усталостного разрушения при механических воздействиях необходимо также задать усталостные параметры материалов.

**Задание нагрузок и креплений.** Гармоническая вибрация и ударное воздействие задаются как инерционные нагрузки. Например, гармоническая вибрация задаётся как зависимость ускорения от частоты задающего воздействия. Для каждого значения частоты и ускорения проводится гармонический анализ. Затем результаты для всех частот комбинируются в постпроцессоре. Важно, чтобы частотный спектр гармонической вибрации был достаточно широким, чтобы не пропустить резонансные частоты конструкции.

Ударная нагрузка моделируется аналогичным образом, с тем отличием, что вместо частотной зависимости используется временная.

**Проведение расчёта.** Проведение расчёта также автоматизируется средствами макропрограммирования. При этом важно правильно выбрать тип расчёта и его параметры. Анализ на случайную вибрацию позволяет получить среднеквадратические отклонения перемещений, ускорений, деформаций и напряжений во всех узлах КЭ сетки. Постпроцессор позволяет также рассчитать спектральную плотность выходных величин (перемещений, ускорений, деформаций и напряжений). Фрагменты интерфейса подсистемы ASRUS-M представлены на рис.1 и рис.2.

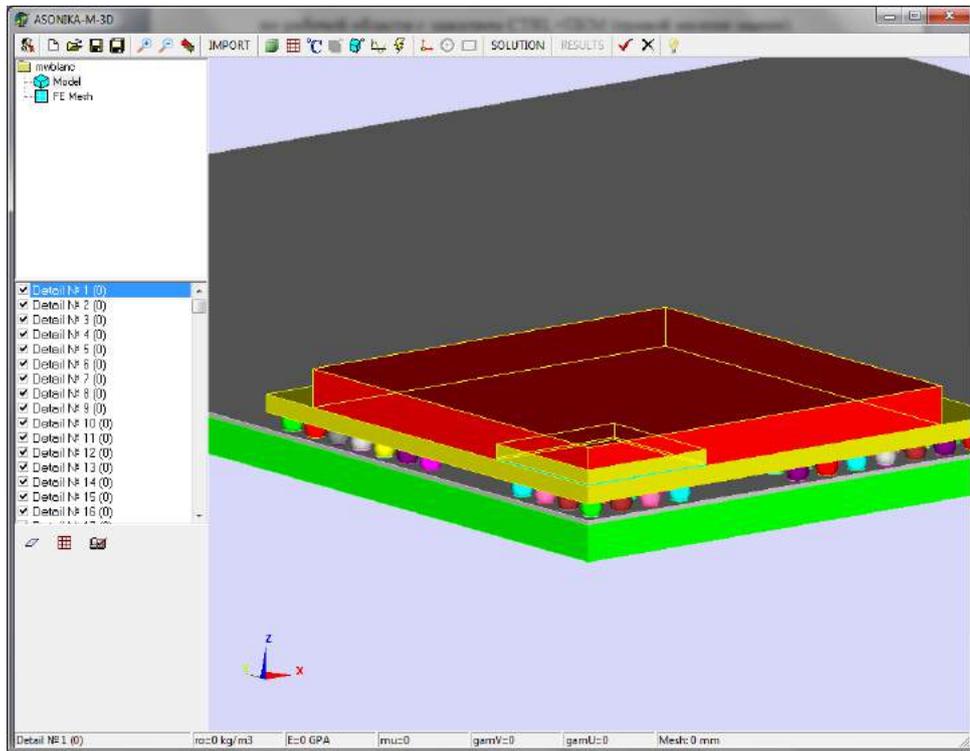


Рис.1. Отображение импортированной модели микросхемы

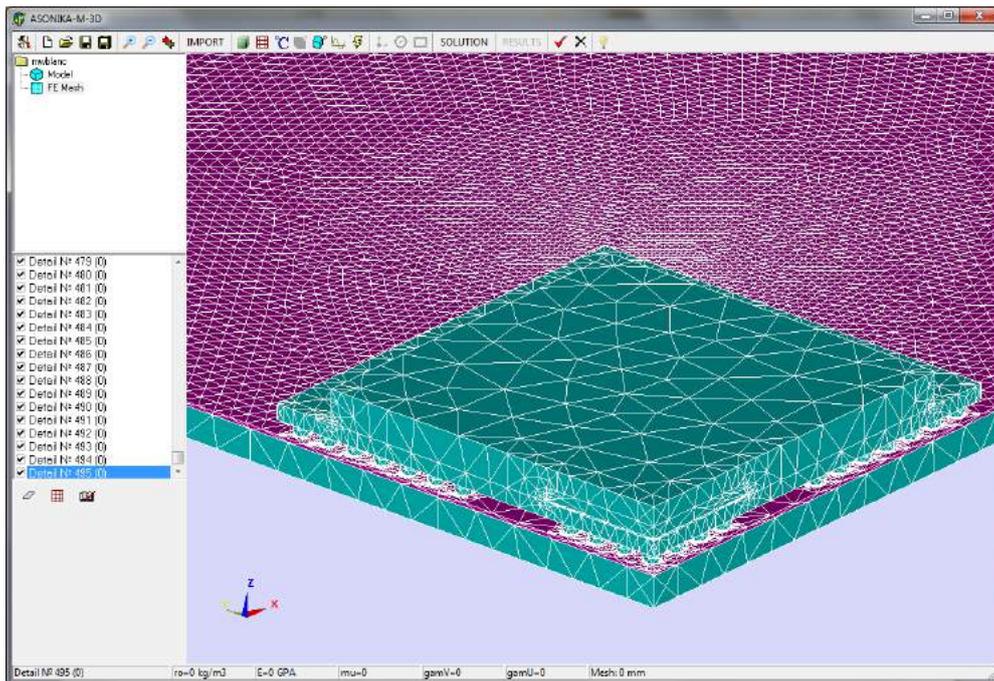


Рис.2. КЭ сетка

Фрагменты постпроцессора подсистемы ASRUS-M представлены на рис.3-5.

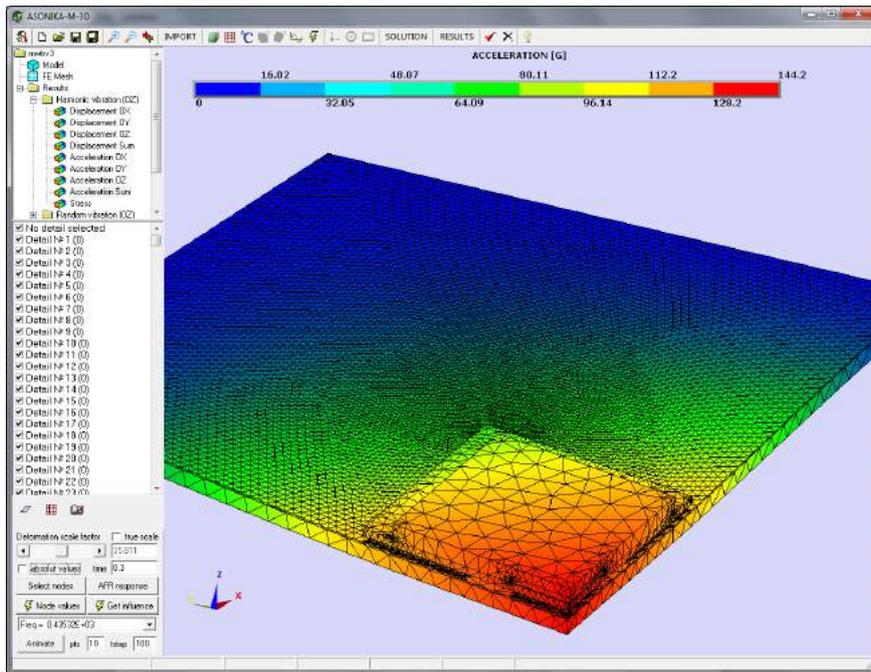


Рис. 3. Поле суммарных ускорений

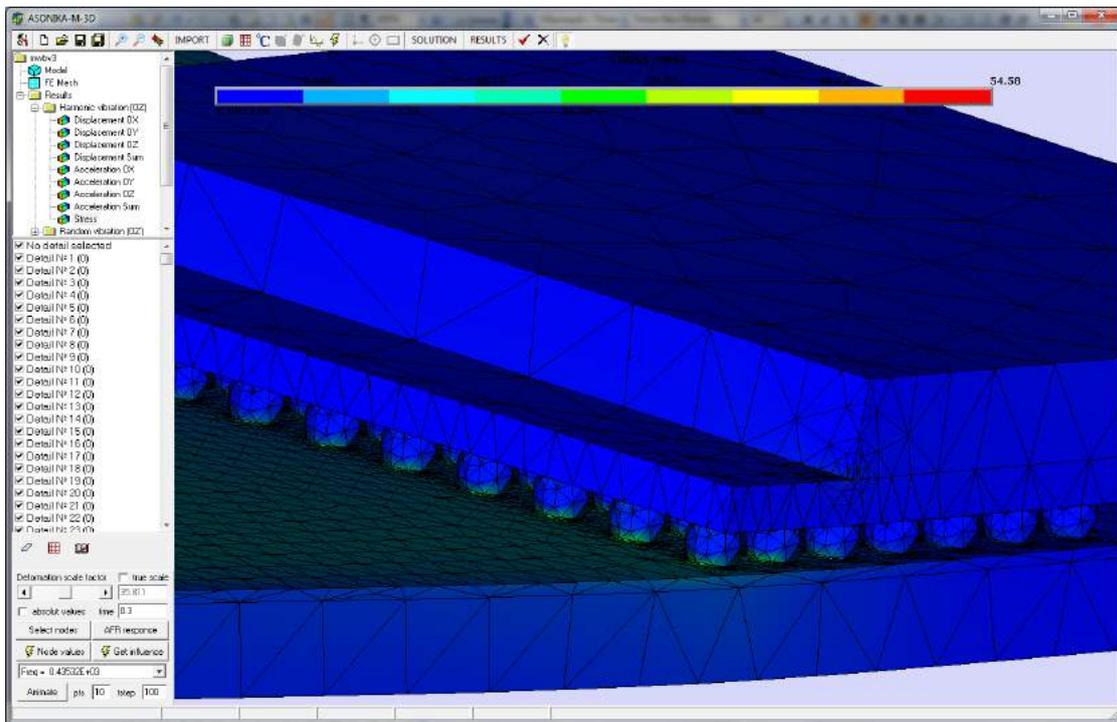


Рис.4. Поле напряжений

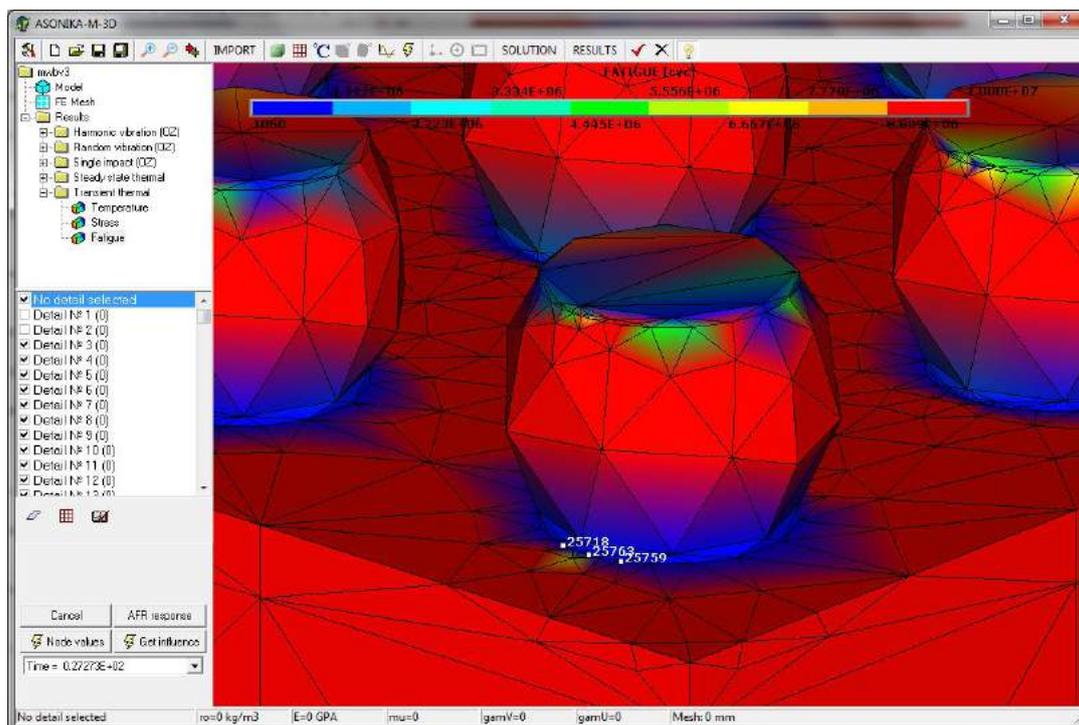


Рис.5. Поле усталости для отдельного вывода

### Список литературы

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.
2. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. – М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

## СЕКЦИЯ №4.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00)

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Рогозин Г.И., Прохоров В.Г., Испирян Н.В., Испирян С.Р.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

В статье приведена блок-схема программы автоматизированного построения операционных размерных цепей.

Ключевые слова: операционные цепи, размерные расчеты, припуск.

При проектировании технологических процессов изготовления деталей машин во всем комплексе работ значительное место занимают размерные расчеты, целью которых являются:

- выявление схемы взаимосвязей между размерами заготовки и готовой детали, технологическими операционными размерами и припусками на обработку.
- выявление и расчет технологических размерных цепей.
- оценка точности принятого варианта технологического процесса изготовления детали.

Для проведения размерных расчетов вычерчивают совмещенный эскиз исходной заготовки и готовой детали (рис.1), на котором отражены все промежуточные состояния заготовки.

Все поверхности заготовки и детали нумеруют по порядку, слева направо, и через них проводят вертикальные линии. Между этими линиями указывают промежуточные размеры заготовки по всем технологическим переходам ( $T_1, T_2$  и т.д.), чертежные размеры ( $K_1, K_2$  и т.д.) и припуски на обработку ( $Z_1, Z_2$  и т.д.).

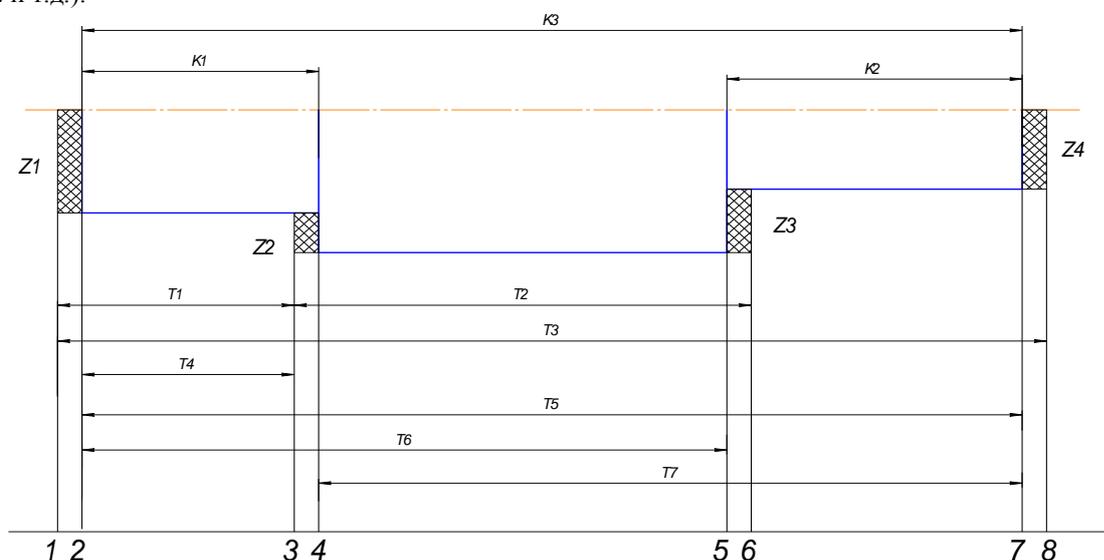
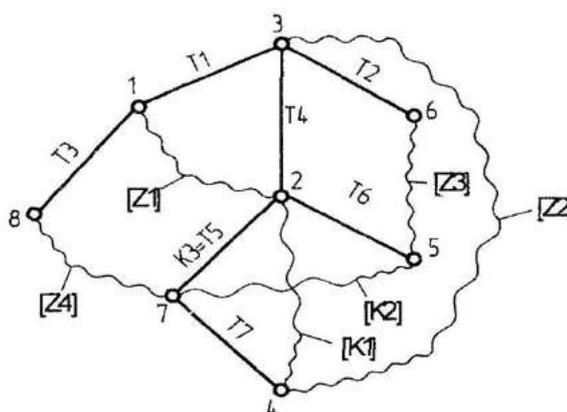


Рис1.Совмещенный эскиз заготовки и детали



Для выявления размерных цепей строят граф размерных связей (рис.2).

Рис. 2. Граф размерных связей

В начале строят граф технологических размеров, где кружочками с цифрами обозначают обрабатываемые поверхности и поверхности заготовки. Прямыми линиями изображают размеры заготовки и размеры, полученные в операциях технологического процесса. Данный граф дополняют графом размеров готовой детали и припусками на обработку в виде дуг и волнистых линий соответственно.

Любой замкнутый контур совмещенного графа образует размерную цепь, замыкающее звено которой изображают волнистой линией и заключают в квадратные скобки. У такой цепи замыкающим звеном является либо размер готовой детали (конструкторский размер), либо припуск на обработку. Размерные цепи строятся так, чтобы припуски у них не входили в качестве составляющих звеньев. Любая размерная цепь имеет одно замыкающее и два (или более) составляющих звеньев.

При проведении размерных расчетов наиболее сложной и трудоемкой является работа, связанная с выявлением и расчетом технологических размерных цепей.

Указанная проблема решена использованием средств вычислительной техники. На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма построения технологических размерных цепей, на основе которой разработана программа на языке С#.

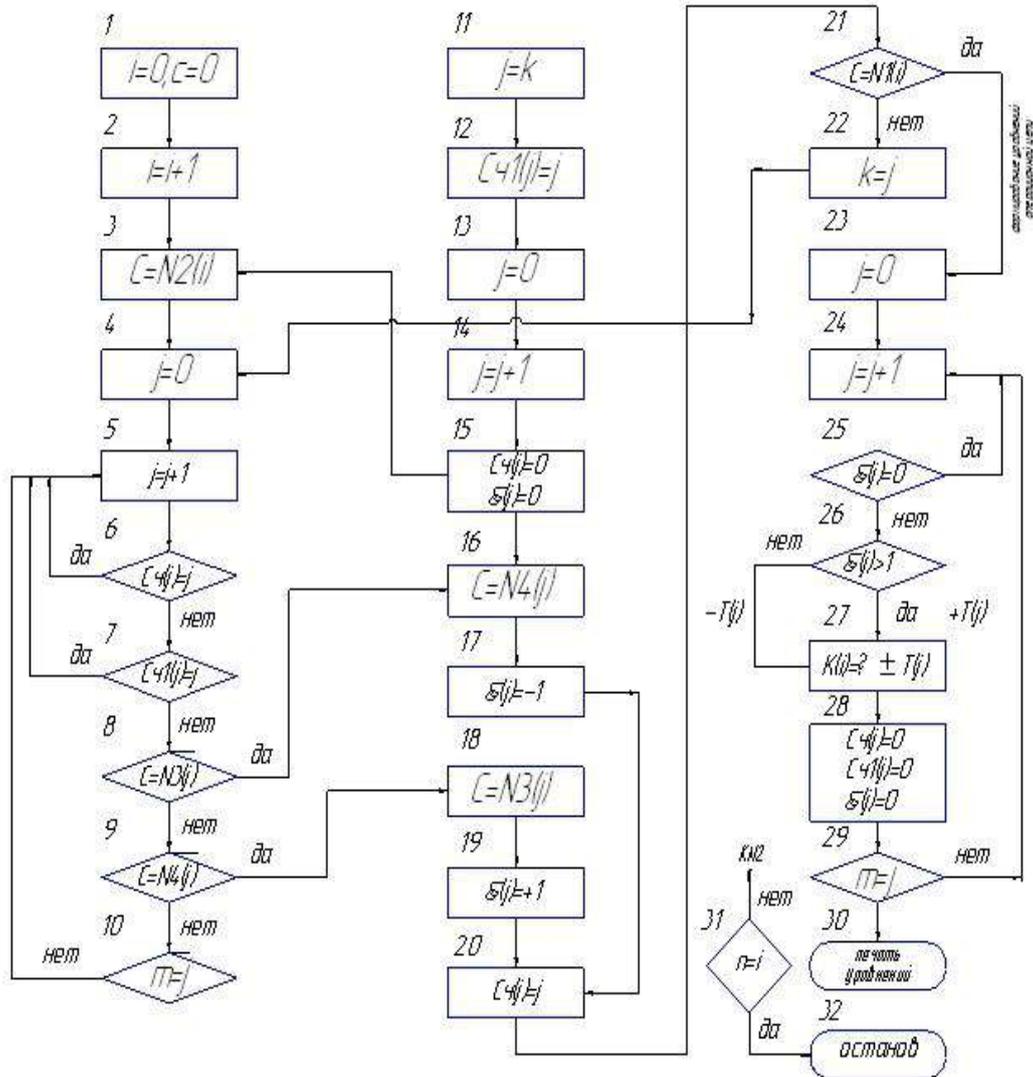


Рис. 3 Блок-схема алгоритма построения технологических размерных цепей

Принцип работы блок-схемы поясним на примере построения размерной цепи размера  $K_2$ . Построение размерной цепи производится на основе информации о графе, представленной в обобщенном виде. В таблице 1 приводится обозначение и границы размеров детали, в таблице 2 – обозначение и границы технологических размеров.

Таблица 1. Конструкторская информация

Обозначение размера	номера границ	
	№1	№2
K1	2	4
K2	5	7
K3	2	7

Таблица 2. Технологическая информация

Обозначение размера	номера границ	
	№1	№2
T1	1	3
T2	3	6
T3	1	8
T4	2	3
T5	2	7
T6	2	5
T7	4	7

Числовая информация, необходимая для расчета цепей, не приводится.

Из таблицы 1 находим границы размера  $K2$  (5,7). Обход начинаем с границы 7, выявление составляющих звеньев производим по таблице 2. Ниже приводим пошаговый поиск выявления составляющих звеньев цепи.

1-й шаг

$$1.T5(7-2), 2 \neq 5$$

$$2.T4(2-3), 3 \neq 5$$

$$3.T1(3-1), 1 \neq 5$$

$$4.T3(1-8), 8 \neq 5$$

8\*

4-й шаг

$$1.T5(7-2), 2 \neq 5$$

$$2.T4(2-3), 3 \neq 5$$

3\*

2-й шаг

$$1.T5(7-2), 2 \neq 5$$

$$2.T4(2-3), 3 \neq 5$$

$$3.T1(3-1), 1 \neq 5$$

1\*

5-й шаг

$$1.T5(7-2), 2 \neq 5$$

$$2.T6(2-5), 5 = 5 \rightarrow \text{конец}$$

3-й шаг

$$1.T5(7-2), 2 \neq 5$$

$$2.T4(2-3), 3 \neq 5$$

$$3.T2(3-6), 6 \neq 5$$

6\*

Для иллюстрации наглядного поиска составляющих звеньев цепи приводим граф (рис.4), построенный с корневой вершиной 7. Составляющие звенья цепи окончательно установлены на 5-ом шаге поиска до получения замкнутого контура. Знаки передаточных отношений определяются следующим образом: если при обходе звена первоначальный номер больше последующего, то передаточное отношение имеет знак «плюс», если меньше – знак «минус».

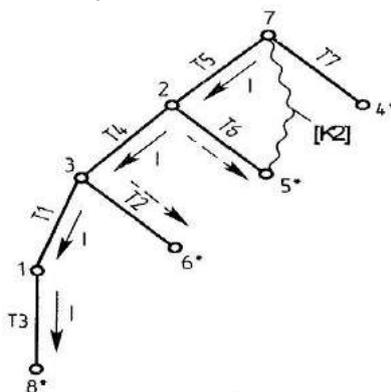


Рис. 4. Граф-дерево для построения размерной цепи для замыкающего звена  $K2$  (5-7)

Окончательное уравнение для размера  $K2$  имеет вид:  $[K2] = T5 - T6$ .

#### Список литературы

1. Матвеев, В.В. Размерный анализ технологических процессов/В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Д.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов, Д.Л. Блюменкранц. М.: Машиностроение, 1982. 260 с.

2. Рогозин, Г.И. К вопросу о расчете припусков на механическую обработку/ Г.И. Рогозин, Н.В. Испирян, С.Р. Испирян// Вестник Тверского государственного технического университета. Тверь: ТГТУ, 2015. №2(28). С.79-81.

## СЕКЦИЯ №5.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00)

#### ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНЫХ НОМОГРАММ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Геркусов А.А.

С. Петербург-Балтийская дистанция электроснабжения. (Эч-4) Октябрьской ж.д.

Применяемые в настоящее время при проектировании линий электропередачи методы выбора сечений проводов воздушных линий (ВЛ) по экономической плотности тока и экономическим интервалам основаны на сопоставлении вариантов по критерию минимума приведенных затрат и могут быть использованы при рассмотрении вопроса развития межсистемных связей и основной сети, а также других проблем представляющих межрегиональный или общегосударственный интерес, в частности, межсистемных ЛЭП – 220 – 500 кВ.

**Выбор сечений проводов по экономической плотности тока.** В основу методики определения сечения проводов по экономической плотности тока положено понятие о прямолинейности зависимости стоимости сооружения 1-го км линии  $K(F)$  от сечения провода [1, 2, 3].

$$K(F) = k + k_F F, \quad (1)$$

где  $k$  – компонента  $K(F)$ , не зависящая от сечения провода  $F$ ;  $k_F$  – коэффициент, определяющий наклон зависимости  $K(F)=f(F)$  по отношению к горизонтальной оси. Значение  $k_F$  определяется видом линии ( ВЛ или КЛ ), её номинальным напряжением  $U_n$ , значением коэффициента дефлятора, а в случае ВЛ - ещё и типом и материалом опор. Таким образом,  $k_F$  концентрирует в себе целую серию факторов, вследствие чего этот коэффициент является достаточно изменчивым показателем.

Кроме того вводится допущение о равенстве активного  $r_0$  и омического  $r_{0ом}$  сопротивлений:

$$r_0 = r_{0ом} = \frac{\rho}{F}, \quad (2)$$

где  $\rho = 30,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$  – удельное сопротивление алюминия.

При этих 2-х допущениях выражение для приведенных затрат  $Z$  на воздушную линию, включающих в себя долю  $(E_n+P)$  единовременных капитальных затрат  $K$  и ежегодные затраты на потери электроэнергии в линии, примет вид [3, 4]:

$$Z=(E_n+P) \cdot K(F) + \frac{3I_{ср.кв}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot Z_{Эн}}{F}, \quad (3)$$

Где  $P=P_{об.рем}+P_A=0,028$  - ежегодные отчисления от капитальных вложений на амортизацию и обслуживание.

$I_{ср.кв}$  - расчётный ток в базисном режиме работы линии, А.

$\tau$  - продолжительность максимальных потерь электроэнергии в линии за год, ч., определяемая по эмпирическому выражению:

$$\tau = (0,124 + 10^{-4} T_{нб})^2 \cdot 8760 \quad (4)$$

$Z_{ЭН}$  - удельные замыкающие затраты на электроэнергию в приёмной энергосистеме связанные с возмещением потерь в линии, коп/кВт.ч в расценках 1984г [5].

Если условно принять, что  $F$  меняется непрерывно то, подставляя значение  $K(F)$  в формулу (3), и приравнявая к нулю производную  $dZ/dF$ , после преобразований получаем оптимальные значения  $F$  и  $J_{ЭК}$ :

$$\frac{I_{ср.кв.}}{F_{опт}} = J_{ЭК} = \sqrt{\frac{(E_n + p_A) K_F 10^3}{3\rho\tau Z_{ЭН}}} \quad (5)$$

Таким образом, получаются известные выражения для оптимальной (экономической) плотности тока, независимые от степени ограничения коронного разряда.

По формуле (5) определяем наиболее выгодную плотность тока  $J_{ЭК}$  в проводах ВЛ для различных классов номинального напряжения. Результаты проведенного на ЭВМ расчёта  $Z_{ЭН}$ ,  $\tau$ ,  $J_{ЭК}$  сводим в таблицу № 1.

**Таблица № 1** Значения экономических плотностей тока

Т <sub>нб</sub> , ч	$\tau$ , ч	$Z_{ЭН}$ коп/кВтч	Экономическая плотность тока $J_{ЭК}$ , А/мм <sup>2</sup> для ВЛ. 110-500 кВ, сооружаемых в 1-м р-не гололёдности на деревянных, стальных и ж.б. опорах .					
			110 ст.	110 ж.б.	110 д.	220	330	500
3000	1575	3,25	0,915	0,919	0,796	0,673	0,689	0,712
4000	2405	2,56	0,834	0,838	0,725	0,614	0,628	0,649
5000	3411	2,21	0,753	0,757	0,656	0,555	0,567	0,586
6300	4980	1,91	0,671	0,674	0,584	0,494	0,505	0,522
7000	5948	1,84	0,626	0,628	0,544	0,46	0,471	0,486
7900	7318	1,81	0,569	0,571	0,495	0,419	0,428	0,442

Из приведённых расчётов видно, что  $J_{ЭК}$  относительно слабо зависит от номинального напряжения линии, климатических особенностей района и ряда других факторов и позволяет оценить значение  $J_{ЭК}$  без учёта зависимости конструктивной части линии от  $F$ .

Сильное влияние на  $J_{ЭК}$  оказывают величины  $\tau$  и  $Z_{ЭН}$ , причём  $Z_{ЭН}$  существенно зависят от региона, в котором будет сооружаться новая линия [4].

**Выбор сечений проводов методом экономических интервалов.** Несмотря на достоинства, применение метода экономической плотности тока для выбора сечений проводов ВЛ обладает рядом недостатков.

Наиболее существенные недостатки согласно [1, 9] заключаются в следующем:

1. Стандартная шкала сечений проводов прерывиста. При определении сечения по  $J_{ЭК}$  чаще всего получается величина, лежащая между 2<sup>ми</sup> стандартными значениями. Округление расчётного значения до ближайшего стандартного является в ряде случаев довольно сложной задачей.
2. Выражение для экономической плотности получено в предположении линейной зависимости капитальных вложений в ВЛ от её длины. Линейная зависимость нарушается при переходе к массовому строительству воздушных линий на унифицированных опорах.
3. При определении значений  $J_{ЭК}$  не учтено влияние на выбор сечений проводов изменений передаваемой мощности с момента ввода линии в эксплуатацию до момента, когда нагрузка достигнет расчетного значения.

4. Методика выбора сечений проводов по экономической плотности тока  $J_{ЭК}$  требует прогнозирования расчетных нагрузок по ВЛ-220 кВ с точностью до 60-100 А. (при применяемой номенклатуре проводов с интервалом 30-100 мм<sup>2</sup>), что совершенно нереально.

5. Зависимость стоимости линий от сечения проводов принята одинаковой для линий всех номинальных напряжений и опор любой конструкции.

Метод выбора сечений проводов свободный от указанных выше недостатков получил название метода экономических интервалов.

Согласно этому методу для воздушных и кабельных линий разных напряжений и исполнений определяются приведённые затраты  $Z$  в зависимости от тока максимума нагрузки  $I_{нб}$  для различных сечений на единицу длины линии:

$$Z = (E_n + P_A) \cdot K_0 + 3I_{нб}^2 R_0 \tau Z_{эн}, \quad (6)$$

Так как оценка стоимости электроэнергии в сопоставляемых проектных вариантах по замыкающим затратам  $Z_{эн}$  не адекватна новым экономическим отношениям [1, 2, 4], поэтому в выражении (6) вместо  $Z_{эн}$  будем использовать средневзвешенный тариф  $\Pi = 2,00$  руб/кВт.ч.  $E_n$  – коэффициент эффективности капиталовложений, значение которого при фиксированном токе нагрузки не оказывает существенного влияния на величину приведенных затрат. Так, например, при изменении  $E_n$  от 0,1 до 0,7 – величина отклонения затрат приведенных  $Z$  составляет не более 0,6%, что позволяет нам принять в качестве  $E_n$  какую-либо усреднённую величину, не противоречащую проведенным в [3] расчётам простого срока окупаемости  $T_{ОК.П.}$ . Принимая, например,  $E_n = 0,34$  год<sup>-1</sup>, получаем  $T_{ОК.П.} = 1/0,34 = 2,94$  года, что соответствует значениям  $T_{ОК.П.}$  рассчитанным в [3]. Коэффициент дефлятора (средневзвешенное значение коэффициента пересчета цен 1984 г. к ценам 2014 г.) принимаем равным – 100 [1].

Активные потери электроэнергии на корону и в линейной изоляции ВЛ 110-220 кВ составляют весьма значительную долю, в общих технических потерях, достигающую, в зависимости от нагрузки и номинального напряжения линии 28,8-54% [7, 8]. В связи с этим, предлагается в формуле 1 учитывать стоимость потерь электроэнергии приходящиеся на корону и в изоляции линии. Тогда формулы (1, 6) с учётом потерь на корону и в линейной изоляции ВЛ примет вид:

$$Z = (E_n + P_A) K_0 + 3I_{нб}^2 R_0 \tau \Pi + 8760 \Delta P_{КОР} \Pi + \frac{U_n^2 \cdot T_{вл} \cdot N_{зуп}}{3N_{из} \cdot R_{из}} \Pi. \quad (7)$$

где:  $\Delta P_{КОР}$  – годовые потери активной мощности на корону кВт/км;  $N_{из}$  – число изоляторов в фазе,  $T_{вл}$  – продолжительность в расчётном периоде влажной погоды, ч;  $N_{зуп}$  – число гирлянд изоляторов [7, 8].

Принимая, что одноцепная ВЛ-220 кВ сооружается на ж/б опорах в 1-ом районе гололёдности и 3-м районе по СЗА в европейской части СНГ, построим экономические интервалы для сталеалюминевых проводов сечением 240 – 600 мм<sup>2</sup>, при  $T_{вл} = 1640$  ч/год и  $\tau = 3411$  ч/год.

Результаты расчетов представлены в таблице 2. По полученным в таблице 2 значениям  $Z=f(I)$ , строим серию пересекающихся параболических кривых (рис 1). Точки их пересечения определяют значение тока при котором экономически целесообразен переход от одного сечения к другому. Нижняя ломанная кривая (**AbcdF**) является кривой минимальных приведенных затрат, то есть соответствует наиболее выгодным сечениям [9]. Аналогичные кривые могут быть получены также и для других районов гололёдности, типов опор при варьируемом значении  $\tau$ .

Для выбора экономически целесообразного сечения провода достаточно отложить на оси абсцисс (рис.1) значение расчетного тока  $I_{расч.}$  и визуально определить в какой из интервалов это значение попадает.

Значение наибольшего расчетного тока линии  $I_{расч.}$  в месте пересечения кривых определяется из выражения:

$$Z_{л1} = Z_{л2} \quad (8)$$

где  $Z_{л1}$  и  $Z_{л2}$  – приведенные затраты для сравниваемых смежных сечений, зависящими от тока линии и будет:

$$I_{расч.} = \sqrt{\frac{(E_n + Pa) \cdot (K_{Л2} - K_{Л1}) \cdot 10^{-3}}{3 \cdot \tau \cdot Ц \cdot (R_{Л1} - R_{Л2})}} \quad (9)$$

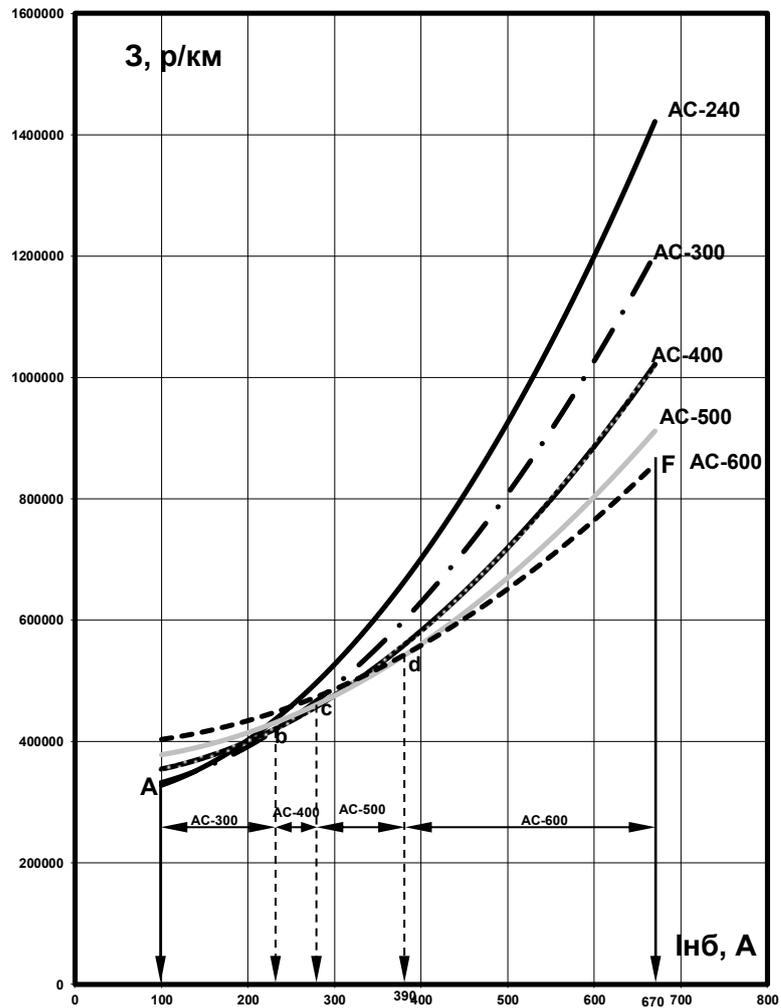


Рис. 1. Уточнённые токовые экономические интервалы одноцепной ВЛ-220 кВ, сооружаемой на ж/б опорах в 1-м районе гололёдности и 3-м районе СЗА при  $\tau = 3411$  ч.

Таким образом, ток  $I_{расч.}$ , вычисляемый по (9), является функцией полной совокупности выше рассмотренных экономических параметров:  $E_n, p_a, K_{Л1}, K_{Л2}, Ц$ .

Выбор сечений проводов методом универсальных номограмм. Так как величина и положение экономических интервалов (рис. 1) зависит от  $\tau$ , то для выбора сечений проводов рассматриваемым методом необходимо для каждого нового значения  $\tau$  строить новое семейство кривых  $З(I)$ , что практически нереально. Так, например, в [5] (таблица 7.8) даже не указывается для какого конкретного значения  $\tau$  построены приведенные там экономические интервалы. В связи с этим предлагается для каждого стандартного сечения провода по формуле (9) построить кривые  $I_{расч.} = f(\tau)$ , каждая из которых представляет собой границу, разделяющую области применения проводов смежных сечений (рис. 2). Таким образом, для любого  $\tau$  выделяются универсальные номограммы (обобщённые экономические интервалы), расположенные между соответствующими кривыми.

Для выбора оптимального сечения проводов проектируемой ВЛ достаточно, при заданных значениях максимальной токовой нагрузок  $\tau I_{нб}$  и времени максимальных потерь  $\tau$ , отложить по осям номограммы их значения и визуально определить в какую из областей попадает точка пересечения прямых,

соответствующих отложенным на осях значениям этих параметров. Значение сечения, указанное внутри области, и будет оптимальным при заданных исходных условиях. Так, например, если  $I_{нб} = 250 \text{ A}$ , а  $\tau = 3500 \text{ ч}$ , то указанная точка (т. А рис. 2) попадает в сектор соответствующий сечению  $400 \text{ мм}^2$ .

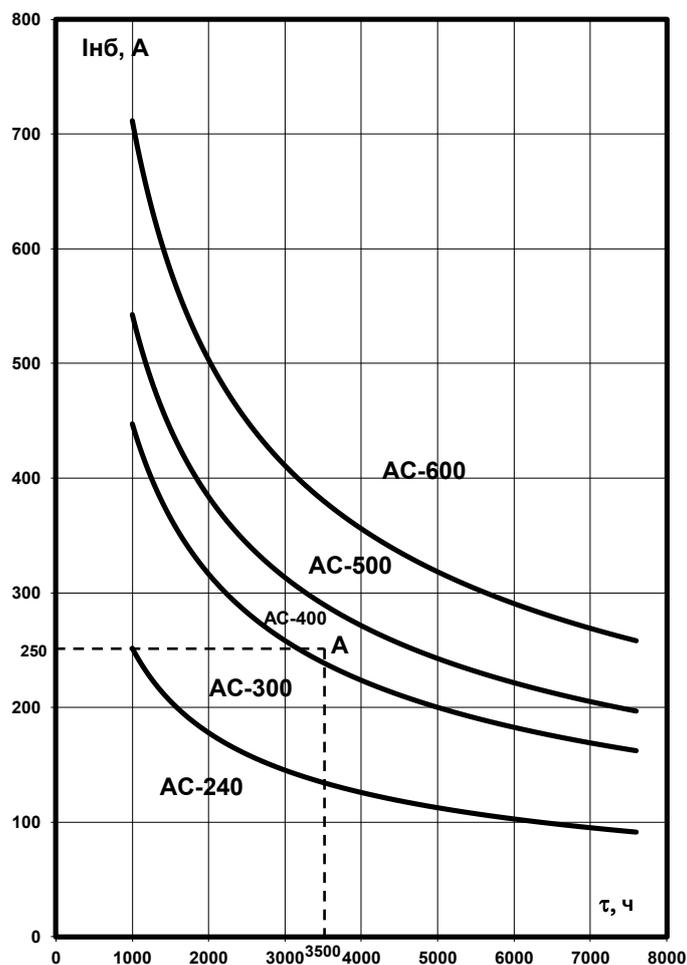


Рис. 2 Уточнённые токовые универсальные номограммы для одноцепной ВЛ-220 кВ, сооружаемой на ж/б опорах в 1-м и 2-м районе гололёдности.

### **Выводы**

1. Большой объём исходной информации и возможных пределов изменения влияющих параметров предопределяет значительный разброс предельных экономических токовых нагрузок, что в современных условиях требует внедрения в практику проектирования программного обеспечения, позволяющего осуществить выбор сечения проводов на основе метода универсальных токовых номограмм для конкретного состава технико-экономических параметров линии.

2. Предложенная методика определения экономического сечения проводов, основанная на построении обобщённых экономических интервалов для любого  $\tau$ , позволяет более достоверно выбирать оптимальное сечение проводов ВЛ 220 – 500 кВ. Помимо удобства в работе, она может быть использована при любой ценовой политике в области тарифов на электроэнергию.

### **Список литературы**

1. Зуев Э.Н. Ефентьев С.Н. Задачи выбора экономически целесообразных сечений проводов и жил кабелей М.: Издательство МЭИ 2005 г. 86 с
2. Зуев Э.Н. К вопросу об экономической плотности тока в современных условиях. Электро. 2000. № 1. С. 44 – 47.

3. Повышение эффективности электрических сетей 110-1150 кВ. Под ред. Н.Н. Тиходеева. Л. Энергоатомиздат 1990г.
4. Федотов А.И., Абдуллазянов Э.Ю. Геркусов А.А. Экономические основы выбора сечений проводов и кабелей в рыночных условиях. Проблемы энергетики – 2001 N 8 –9 с. 67 – 82.
5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С.С. Рокотяна и М.Н. Шапиро. М. Энергоатомиздат, 1985г.
6. Федотов А.И. Геркусов А.А. Проблема энергосбережения при выборе сечений проводов воздушных линий 110 – 500 кВ. Проблемы энергетики – 2000. N 11 – 12 С. 54 – 61.
7. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях М. “Издательство НЦ ЭНАС”, 2005 г. 277 с.
8. Афанасьев Д.А. Зарудский Д.К. К методике оценки потерь активной мощности на корону на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения // Электро 2001 N 1. С. 11-13.
9. Блок В.М. “Электрические сети и системы” Учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей вузов. М.: “Высшая школа” 1986 г. – 430 с.
10. Правила устройства электроустановок 6-е издание М.: Энергоатомиздат 1985 г. – 630 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ, УСТРОЙСТВ, ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «ЭНЕРГОМОДЕЛЬ-М»

**Шалумов А.С.<sup>1</sup>, Шалумов М.А.<sup>2</sup>, Ильин С.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ООО "НТЦ "Энергомодель", РФ, г. Москва

<sup>2</sup>Владимирский филиал РАНХиГС, РФ, г. Владимир

Объекты энергетики – элементы, устройства, приборы энергетики (ЭУПЭ) такие как ветрогенераторы, шкафы с электротехническим оборудованием, солнечные батареи и др, в процессе эксплуатации подвергаются механическим, тепловым и электромагнитным воздействиям. Для сокращения сроков и затрат на проектирование применяются специализированные САПР, задача которых на ранних этапах проектирования – анализ стойкости ЭУПЭ к указанным внешним воздействующим факторам и оценка надёжности данных объектов. Значительное количество аварий связано с выходом из строя несущих конструкций ЭУПЭ при механических перегрузках и количество таких отказов составляет порядка 50 %. Кроме того влияние механических факторов на 30 % сокращает срок службы объекта [1,2].

Для прогнозирования и предотвращения отказов ЭУПЭ из-за механических воздействий разработана автоматизированная подсистема анализа и обеспечения стойкости элементов, устройств, приборов для энергетики к механическим воздействиям «ЭНЕРГОМОДЕЛЬ-М».

Подсистема обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчет механических характеристик типовых и произвольных конструкций ЭУПЭ при воздействии гармонической вибрации;
- расчет механических характеристик типовых и произвольных конструкций ЭУПЭ при воздействии случайной вибрации;
- расчет механических характеристик типовых и произвольных конструкций ЭУПЭ при воздействии одиночных ударов;
- расчет механических характеристик типовых и произвольных конструкций ЭУПЭ при воздействии многократных ударов;
- расчет механических характеристик типовых и произвольных конструкций ЭУПЭ при воздействии линейных ускорений.

Благодаря возможностям подсистемы можно получить: на выходе поля выходных величин (перемещений, ускорений, напряжений), графики амплитудно-частотных и амплитудно-временных характеристик, абсолютные и относительные значения, значения выходных величин в узлах конечно-элементной сетки, процентное превышение напряжений над допустимыми значениями, деформированное

состояние конструкций с учетом фактора усиления и анимацию отклика конструкции ЭУПЭ на механические воздействия.

Рассмотрим особенности моделирования шкафа с электротехническим оборудованием с помощью подсистемы "ЭНЕРГОМОДЕЛЬ-М".

На рис.1 представлена модель шкафа, созданная в специализированном графическом интерфейсе подсистемы "ЭНЕРГОМОДЕЛЬ-М".

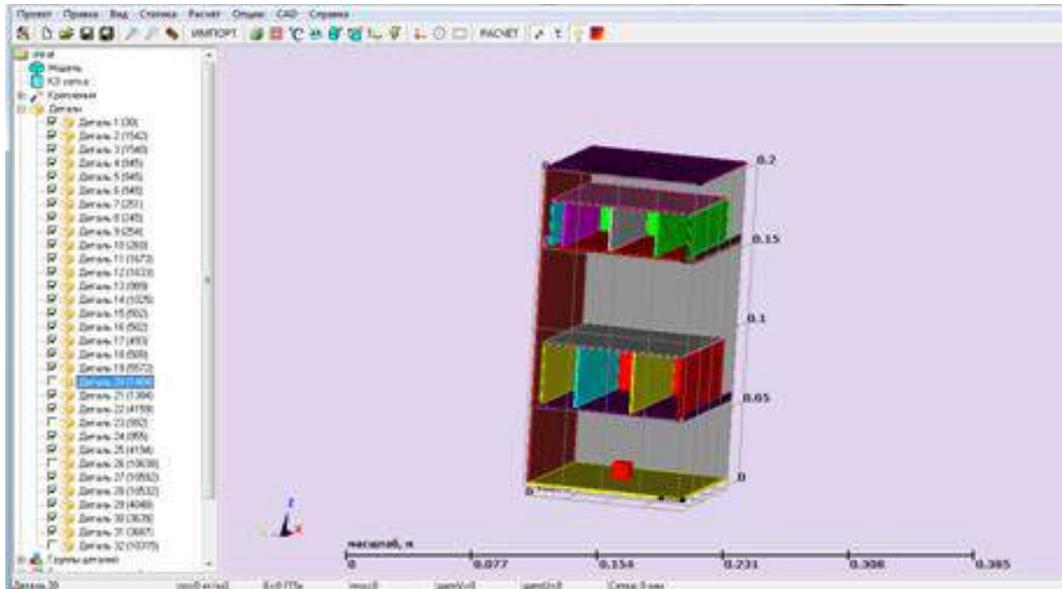


Рис.1. Модель шкафа

Модальный анализ проводится для определения частот и форм (мод) собственных колебаний конструкций. Результат модального анализа – поле суммарного перемещения (рис.2). Для каждого перемещения можно посмотреть минимальные и максимальные значения (как для всей конструкции, так и для конкретной детали), значения в выбранных узлах, изменения по частоте. Провести анимацию отклика конструкции на механические воздействия с учётом фактора усиления. Перебирая частоты, можно посмотреть, как меняется перемещение.

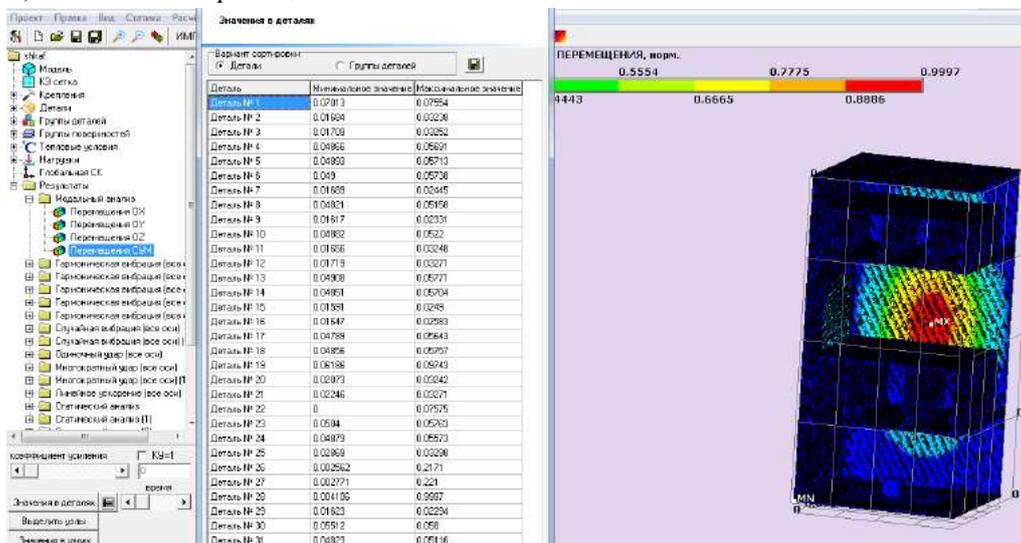


Рис.2. Результат модального анализа (суммарное перемещение) с граничными значениями

При расчёте гармонической вибрации в частотной области получаем поля значений ускорений и перемещений по трем осям и суммарные значения, поля значений напряжений, значений времени до усталостного разрушения. Результаты расчётов в частотной области представлены на рис.3 - рис.6.

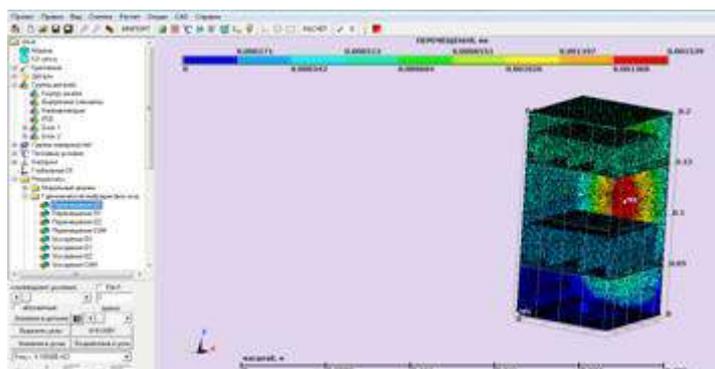


Рис.3. Поля перемещений по оси X при расчёте на гармоническую вибрацию в частотной области

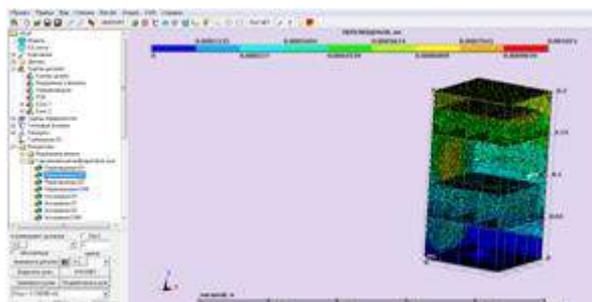


Рис.4. Поля перемещений по оси Y при расчёте на гармоническую вибрацию в частотной области

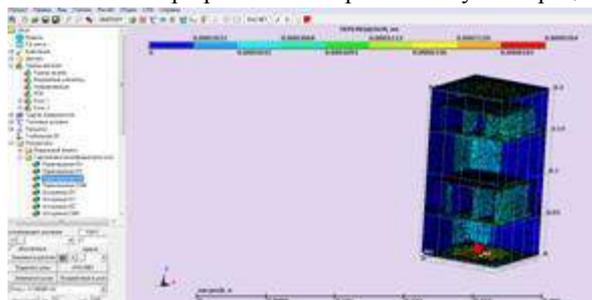


Рис.5. Поля перемещений по оси Z при расчёте на гармоническую вибрацию в частотной области

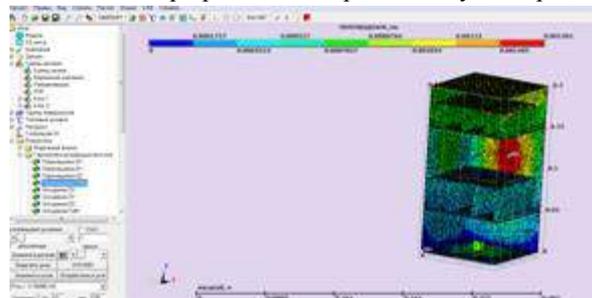


Рис.6. Поля суммарных перемещений при расчёте на гармоническую вибрацию в частотной области

Чтобы посмотреть графики амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) в выбранных узлах, необходимо нажать на соответствующую кнопку в постпроцессоре (рис.7). Перебирая частоты, можно посмотреть, как меняется перемещение.

Расчёт на случайную вибрацию с учетом усталости позволяет получить не только относительные и абсолютные поля перемещений и ускорений по осям и суммарно, поле напряжений и поле процентного превышения рассчитанных напряжений над допустимыми значениями, но и поле усталости (рис.8).

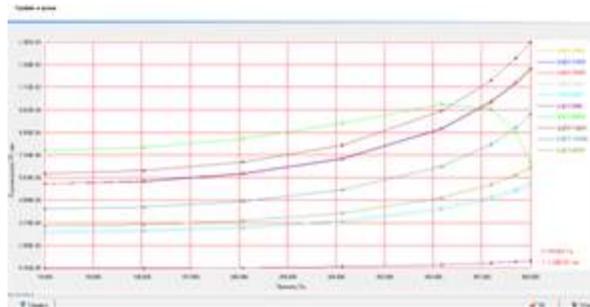


Рис.7. Графики АЧХ в выбранных узлах

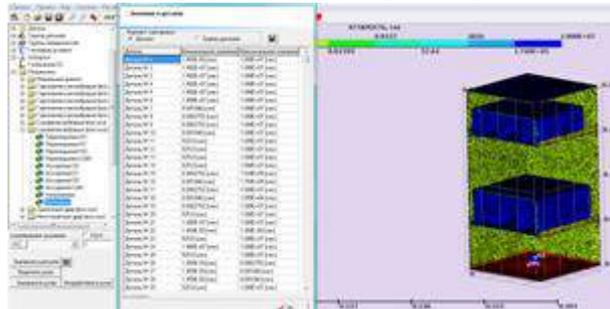


Рис.8. Поле усталости с таблицей граничных значений в деталях при расчете на случайную вибрацию

В результате расчёта на одиночный удар мы получаем поля перемещений и ускорений по осям и суммарно, а также амплитудно-временные характеристики (АВХ) в контрольных точках (рис.9 - рис.11). Аналогичные результаты можно получить для линейного ускорения. На рис.12 показан график АВХ для многократного удара.

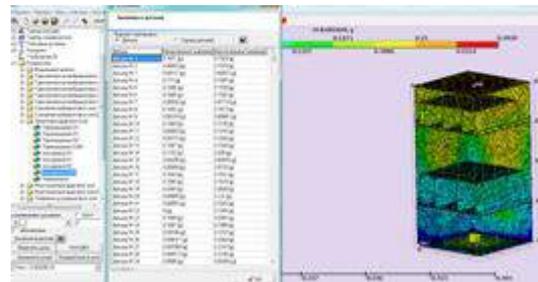


Рис.9. Поля суммарных ускорений при расчете на одиночный удар

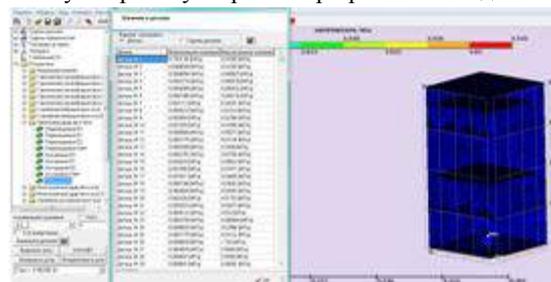


Рис.10. Поля напряжений при расчете на одиночный удар

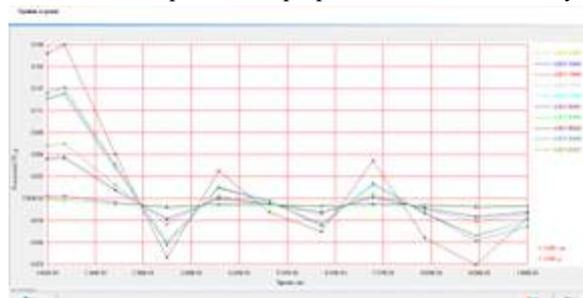


Рис.11. Графики АВХ в выбранных узлах при расчете на одиночный удар (ускорения по оси Y)

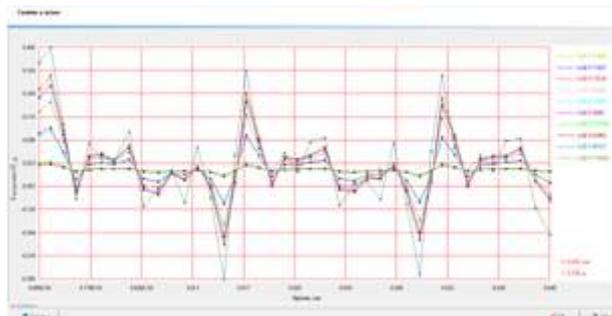


Рис.12. Графики АВХ в выбранных узлах при расчёте на многократный удар (ускорение по оси Y)

### Список литературы

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.
2. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. – М.: Радиотехника, 2013. – 424 с.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛАХ

**Щукис Е.Г.**

НИУ МЭИ, РФ, г. Москва

Одной из важнейших составляющих безопасной эксплуатации энергоблока АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР) является работоспособность парогенераторов (ПГ). Практика эксплуатации горизонтальных ПГ показала, что основным элементом, определяющим фактический срок службы этого объекта, являются теплообменные трубы (ТОТ) [1]. Для оценки состояния теплообменных труб ПГ проводится контроль целостности труб методом многочастотного вихретокового контроля (ВТК).

Анализ данных, полученных от многочастотного ВТК, сопряжен со значительными трудностями, обусловленными зашумленностью сигналов, а также наличием множества мешающих факторов. Одним из основных мешающих факторов для выделения дефектов являются конструктивные элементы, а именно дистанционирующие решетки, которые предназначены для фиксации теплообменных трубок в заданном положении (рис. 1). Поэтому, сначала нужно выделить в сигнале области, соответствующие конструктивному элементу.

Анализ выходных сигналов вихретокового датчика показал, что основными видами помех полезного сигнала являются: пильгер-шум, обусловленный несовершенством технологии изготовления труб; тренд, возможность появления которого обусловлена смещением датчика относительно продольной оси, а также смещением нуля; случайный шум, обусловленный, например, внешними помехами от электромагнитных процессов в атмосфере, промышленных установках, трансформаторах и т.д.

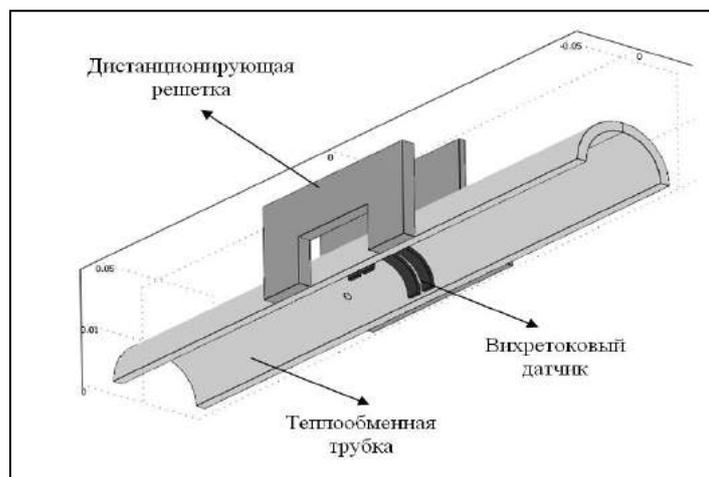


Рис. 1. Разрез теплообменной трубки парогенератора с дистанционирующей решеткой

Таким образом, исследуемая модель диагностического сигнала может быть представлена как сигнал непосредственно от дистанционирующей решетки с аддитивно наложенными на нее сигналами, соответствующими помехам.

Пример формирования модели зашумленного сигнала  $S(t)$  представлен на рисунке 2, где показаны: а) Модель сигнала от дистанционирующей решетки; б) Модель тренда, определяемая выражением:  $Trend=0.18\sin(2\pi/T t+\pi)$ , где  $T=3000$ ; в) Модель, учитывающая влияние внешних помех и представленная белым гауссовским шумом; д) Модель пильгер-шума. е) Модель диагностического сигнала от дистанционирующей решетки.

Предлагаемая методика выделения диагностически значимых областей базируется на вейвлет-обработке диагностических сигналов с использованием вспомогательных операций: фильтрации и пороговой обработки (трешолдинга), позволяющих в значительной степени повысить эффективность метода.

Так как вейвлет-преобразование вычисляется как свертка исследуемого сигнала и вейвлета и его коэффициенты содержат комбинированную информацию об исследуемом сигнале и используемом вейвлете, то выбор вейвлета определяется подбором формы вейвлета анализируемому сигналу и порядком вейвлета, который определяет число нулевых моментов: чем большее число нулевых моментов содержит вейвлет, тем более тонкую структуру сигнала он позволяет анализировать.

Для разработки метода были использованы ортогональные вейвлеты Добеши (dbN), Симлета (symN) и В-сплайновые биортогональные вейвлеты (bior Nr.Nd и rbioNr.Nd), где N- порядок вейвлета.

Вейвлет-анализ позволяет анализировать исследуемый сигнал на различных уровнях разрешения, т.е. анализировать различные версии сигнала, каждой из которой соответствует определенный диапазон частот.

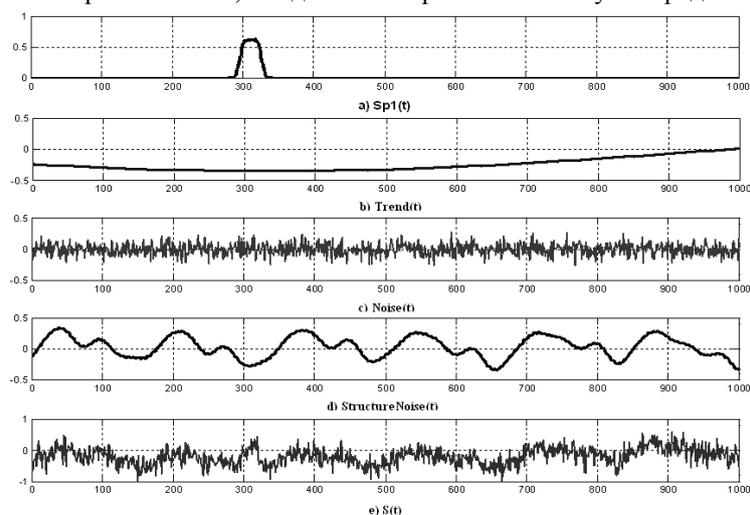


Рис.2. а) Sp1(t); б) Trend(t); в) Noise(t); д) StructureNoise(t); е) S(t)

Разложение исследуемого сигнала на различных уровнях выполнялось с помощью прямого алгоритма Малла (рис. 3) [2]. В качестве вейвлет-коэффициентов нулевого уровня принимались значения цифровых отсчетов анализируемого сигнала. Наименьший масштаб, соответствующий самому высокому разрешению, определялся числом отсчетов оцифрованного сигнала.

В результате разложения исследуемого сигнала с помощью прямого алгоритма Малла были получены вейвлет-спектры, соответствующие аппроксимациям и детализациям исследуемого сигнала на различных уровнях разрешения. Анализ вейвлет-спектров различных уровней показал, что достаточно рассматривать первые 8 уровней сигнала, так как дальнейшее разложение не несет значимой информации о диагностически значимых областях. Далее по полученным вейвлет-спектрам аппроксимаций и детализаций, соответствующих различным уровням разрешения, с помощью обратного алгоритма Малла выполнялось формирование версий сигнала, соответствующих различным уровням разрешения.

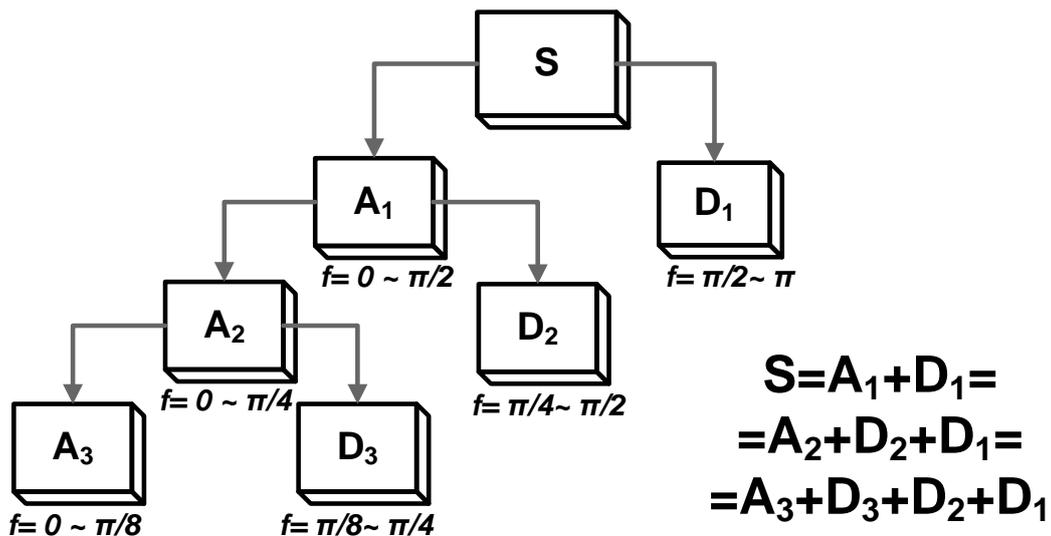


Рис. 3. Структура вейвлет-представления сигнала. А- аппроксимирующие, D- детализирующие коэффициенты

В качестве критерия эффективности было принято отношение энергий сигнал/шум (С/Ш). В результате анализа было получено, что максимальное отношение С/Ш имеет детализация 5-ого уровня разрешения, отношение С/Ш этого сигнала равно 8.5 (при использовании материнского вейвлета biog4.4).

Для повышения отношения сигнал/шум в восстановленных версиях в предлагаемом методе предусматривается пороговая обработка (трешолдинг), которая заключается в том, что приравниваются нулю вейвлет-коэффициенты, которые не превышают значения порога  $\tau$ . Сигнал до и после пороговой обработки показан на рисунке 4.

После обработки осталась только часть сигнала, которая имеет координаты [200, 400]. Если сравнить эти координаты с координатами, которые были заданы при построении диагностического сигнала от дистанционирующей решетки, а именно [280, 340], то получается, что оставшаяся после обработки часть сигнала (рис. 4 (b)) соответствует местоположению сигнала от решетки, но при этом перекрывает его с запасом.

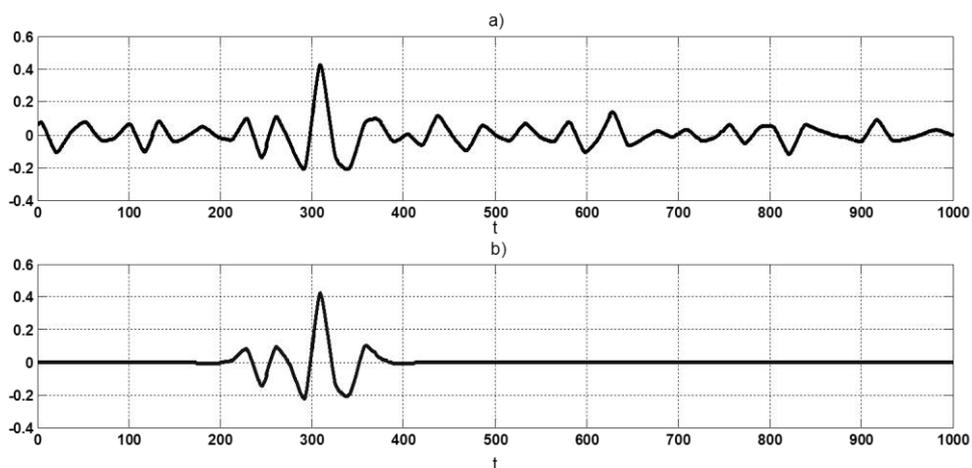


Рис. 4. Восстановленная детализации 5-ого уровня а) до пороговой обработки, б) после пороговой обработки

Таким образом, можно на абсолютном канале выделять области сигнала, соответствующие конструктивным элементам (Рис. 5).

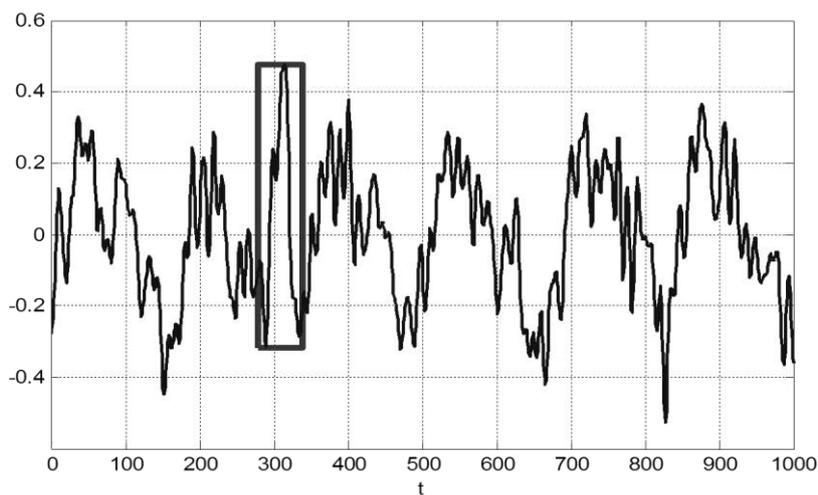


Рис. 5. Сигнал  $S(t)$ , рамкой выделен участок сигнала, соответствующий решетке

#### Список литературы

1. Бергункер В.Д, Трунов Н.Б., Денисов В.В. Анализ состояния труб парогенераторов на основе данных вихретокового контроля. ФГУП ОКБ "Гидропресс", Подольск, Московская область. Доклады 6-го международного семинара по горизонтальным парогенераторам ( 2004).
2. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab.- М.: ДМК Пресс, 2008.-448с.

#### СЕКЦИЯ №6.

#### ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00)

# СООТНЕСЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Быков И.Ю., Заикин С.Ф.

УГТУ, РФ, г. Ухта

Существует несколько физико-математических моделей описывающих поведение бурильной колонны в процессе проходки ствола скважины [1,2,3]. Теоретические предсказания, полученные с помощью этих моделей, подтверждены экспериментальными результатами. В работе [4] предложена двухмассовая модель бурильной колонны, которая требует экспериментальной оценки её адекватности, а также соотнесения с существующими теоретическими моделями. Экспериментальная оценка двухмассовой физико-математической модели проведена с помощью измерителя крутящего момента «ИКРУМ», на опытной скважине фирмы «ЭЛТЕХ» г. Усинска. Результаты, полученные в эксперименте, подтвердили пригодность двухмассовой модели для описания динамического поведения бурильной колонны в процессе проходки скважины [5]. Ниже на рис.1 представлен вид экрана измерителя «ИКРУМ».



Рисунок 1 – Осциллограмма крутящего момента при осевой нагрузке 120 кН и глубине скважины 2000 м

На осциллограмме (рис. 1), снятой с помощью измерителя «ИКРУМ», приведено значение крутящего момента на двигателе привода бурового станка в реальном времени при частоте вращения бурильной колонны 80 об/мин, осевой нагрузке в 120 Кн и длине бурильной колонны 2000 м. Измеритель показывает постоянное во времени значение крутящего момента на валу двигателя привода, соответствующее 3650 Нм.

На осциллограмме (рис. 2) показана зависимость измеряемого значения мощности на электродвигателе привода бурового станка в реальном времени при этой осевой нагрузке 120 кН. Величина мощности с течением времени не меняется, что свидетельствует об отсутствии автоколебаний и соударений бурильной колонны, вызванных влиянием изгибных полуволн.



Рисунок 2 – Осциллограмма мощности при осевой нагрузке 120 кН

Согласно расчётным результатам, полученным с помощью физико-математической модели, описанной в работе [5], и представленным на диаграммах (рис. 3, рис. 4) устанавливаем, что бурение осуществляется в безвибрационной зоне, которой соответствует, точка А диаграммы. Суммарный момент сопротивления в этом случае по расчётам составляет 2100 Нм. На диаграммах (рис. 3, рис. 4) области равномерного безвибрационного вращения с отсутствием крутильных и продольных автоколебаний, выделены вертикальными столбцами голубого цвета. Столбчатым областям белого цвета соответствуют продольные автоколебания бурильной колонны.

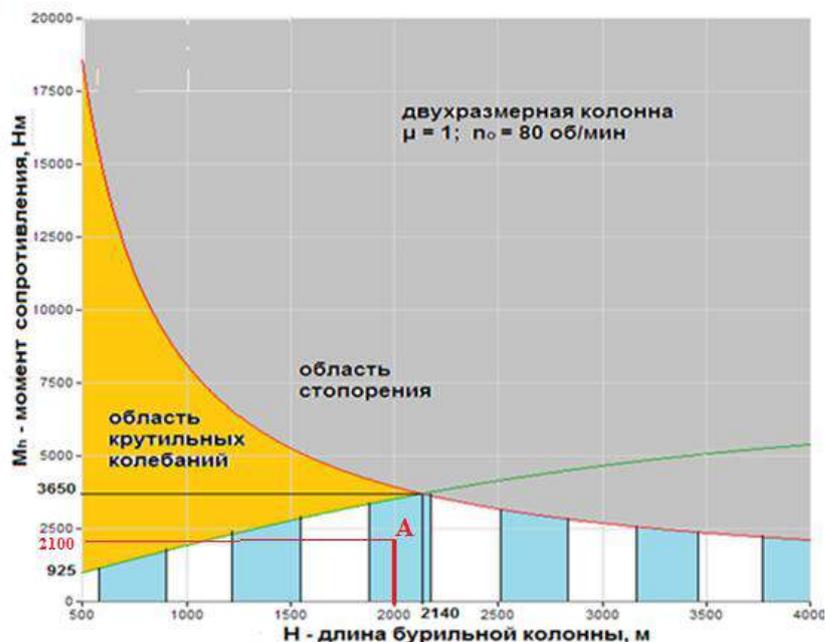


Рисунок 3 – Диаграмма, определяющая, условия работы бурильной колонны, в зависимости от суммарного момента сопротивления, и её длины



Рисунок 4 – Диаграмма, определяющая, условия работы бурильной колонны, в зависимости от суммарного момента сопротивления, и частоты вращения

На рис. 5 представлена осциллограмма измерения мощности двигателя привода при осевой нагрузке 180 кН. Частота колебаний мощности на двигателе привода, соответствует частоте жёстких биений, возникающих при автоколебательном режиме работы бурильной колонны.



Рисунок 5 – Осциллограмма мощности при осевой нагрузке 180 кН

Момент сопротивления вращению долота при длине колонны, равной  $H=2000$  м, определяется по эмпирической формуле Соловьёва Е. М. [3]:

$$M_H = AP_0 \left(1 + \frac{B}{\omega_h + \delta_0}\right), \quad (1)$$

где  $M_H$  – момент сопротивления вращению долота (момент нагрузки), Нм;  
 $\omega_h$  – скорость вращения бурильной колонны при её длине равной  $H$ , рад/с;  
 $P_0$  – осевая нагрузка на долото, Н;  $\delta_0 = 1 \div 1,5$  рад/с;  $A=0,4a_0d_0^2$ ;  $d_0$  – диаметр долота, м;  $B$  – эмпирическая постоянная, изменяющаяся в зависимости от конструкции долота.  $B=7,25$  для трехшарошечного долота;  $a_0$  – эмпирический коэффициент, определяемый твёрдостью породы.  $a_0=1$  для мягких пород,  $0,7 \div 0,8$  для средних пород;  $0,5 \div 0,6$  для твёрдых пород.

Из формулы [1] при прямопропорциональной зависимости момента сопротивления от осевой нагрузки следует, что его значение увеличивается при увеличении нагрузки от 120 до 180 кН до 3150 Нм. Сравнение с диаграммами на рисунках 4 и 5 подтверждает работу бурильной колонны в области установившихся крутильных колебаний, точка В.

Для убедительности полученных результатов рассчитаем резонансные частоты колебаний бурильной колонны, возникающие за счёт упругости её подвеса.

Для этого воспользуемся методикой, разработанной в Санкт-Петербургском горном университете [1]. Резонансные частоты колебаний бурильной колонны имеют место при совпадении частот привода и частот её собственных колебаний (продольных и крутильных).

Продольные колебания имеют место при изменении осевой нагрузки на забой, при котором наблюдается смещение поперечных сечений колонны вдоль её продольной оси.

Частотное уравнение для этого случая имеет вид [1]:

$$\frac{P\chi}{gEF} \omega = ctg \frac{H}{\chi} \omega, \quad (2)$$

где  $P$  – осевая нагрузка на забой, Н;  $g$  – ускорение силы тяжести, Н/кг;  $\chi$  – скорость продольной волны в материале труб, м/с;  $\omega$  – неизвестная циклическая частота собственных продольных колебаний бурильной колонны, рад/с;  $E$  – модуль Юнга трубной стали, Па;  $F$  – площадь поперечного сечения бурильной трубы, м<sup>2</sup>;  $H$  – длина бурильной колонны, м.

Для учёта крутильных колебаний бурильной колонны предлагается использовать другое частотное уравнение [1]:

$$\frac{2,5P\lambda(1+\mu)}{gE(D^2-d^2)} \omega^* = ctg \frac{H}{\lambda} \omega^*, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – скорость распространения поперечных колебаний в материале труб, м/с;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $D, d$  – соответственно наружный и внутренний диаметр труб бурильной колонны, м;  $\omega^*$  – собственная частота крутильных колебаний в теле бурильной колонны, рад/с.

Графическое решение уравнений 2 и 3 для оценки резонансных частот опытного бурения на глубине 2000 м представлено на рис. 6 [7]. Резонансные частоты находятся под точками пересечения соответствующих прямых и тангенсоид.

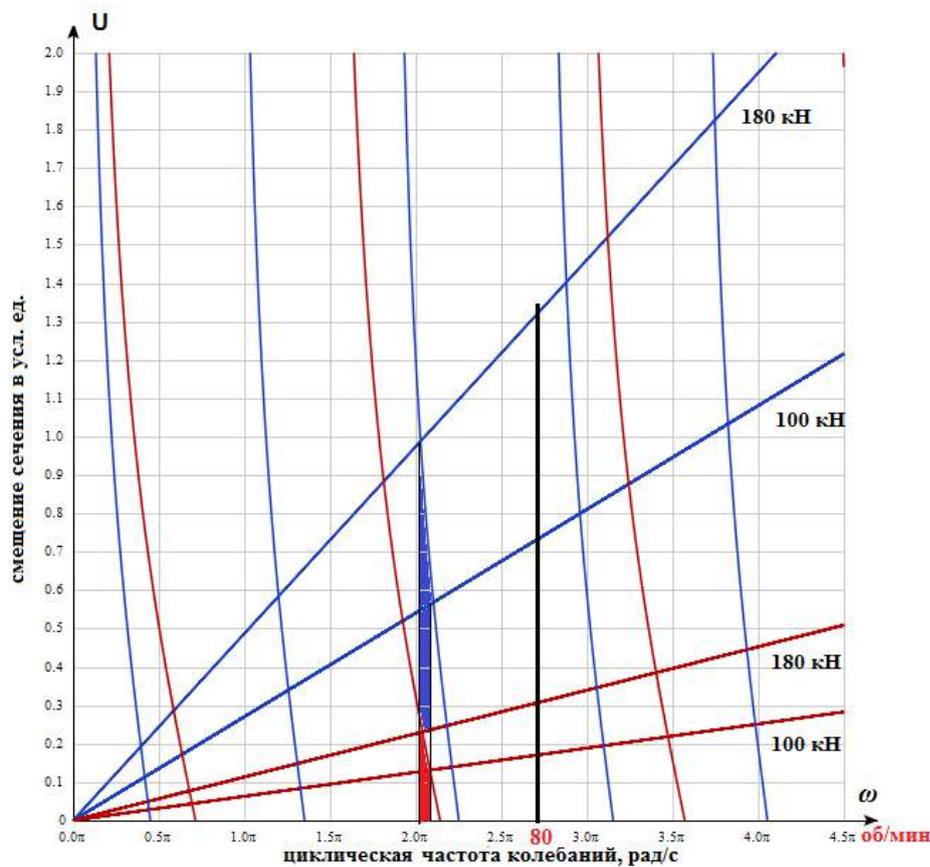


Рисунок 6 – Спектры резонансных частот бурильной колонны, в диапазоне осевых нагрузок 100 – 180 кН продольные колебания – линии красного цвета, крутильные – синего

Основной тон резонанса продольных колебаний при изменении осевой нагрузки от 100 кН до 180 кН, находится в интервале частот от 2,12 рад/с до 2,17 рад/с, что соответствует частотам вращения привода от 20,3 об/мин до 20,7 об/мин. Первому и второму обертонам соответствуют интервалы частот вращения 61,2...62,7 об/мин, 102...104 об/мин.

Основной тон резонанса крутильных колебаний находится в интервале частот 1,22...1,29 рад/с, для чего необходимо вращение привода со скоростью 11,7...12,3 об/мин. Для первых трёх обертонов скорости вращения привода соответственно 36,0...37,6; 60,6...63,2; 86,0...88,8 об/мин. Бурение проводилось на частоте вращения привода 80 об/мин. Поэтому осциллограммы, снятые с помощью измерителя приращения крутящего момента «ИКРУМ» не отражают резонансных явлений.

Выводы.

1. Двухмассовая физико-математическая модель бурильной колонны адекватно отражает её динамическое поведение в процессе проходки ствола скважины.
2. Эксперимент подтверждает, что двухмассовая физико-математическая модель бурильной колонны находится в хорошем согласии с моделями её динамического поведения А. Е. Сарояна, Е. К. Юнина-В. К. Хегая, Л. К. Горшкова.

#### Список литературы

1. Горшков Л. К. Динамика низа бурильной колонны при глубоком бурении // Инженер-нефтяник. – 2012. – №2. – С. 32– 35.
2. Сароян А. Е. Теория и практика работы бурильной колонны. – М.: Недра, 1990. – 263 с.
3. Юнин Е. К., Хегай В. К. Динамика глубокого бурения. – М.: Недра, 2004. – 286 с.
4. Быков И. Ю., Заикин С. Ф., Перминов Б. А., Перминов В. Б. Динамические свойства бурильной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – №8. – С.4 – 8.

5. Быков И. Ю., Заикин С. Ф., Перминов Б. А., Перминов В. Б. Экспериментальная проверка основных теоретических положений динамики бурильной колонны // Инженер-нефтяник. – 2014. – №3. – С. 30 – 33.
6. Быков И. Ю., Заикин С. Ф., Перминов В. Б. Определение наброса момента сопротивления, действующего на бурильную колонну в оптимальных рабочих зонах параметров бурения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – №4. – С. 33 – 40.
7. Быков И.Ю., Заикин С.Ф. К исследованию динамической устойчивости бурильной колонны в процессе бурения//Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения. – 2016. – №3. – С. 137 – 150.

## **СЕКЦИЯ №7.**

### **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00)**

#### **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ABS-ПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННОГО ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ**

**Костина Е.С.<sup>1</sup>, Чубуков А.И.<sup>2</sup>, Ильинкова Т.А.<sup>3</sup>, Клубуков М.А.<sup>4</sup>**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань

<sup>1</sup>студент кафедры «Материаловедения, сварки и производственной безопасности»

<sup>2</sup>студент кафедры «Материаловедения, сварки и производственной безопасности»

<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры «Материаловедения, сварки и производственной безопасности»

<sup>4</sup>заведующий лабораторией кафедры «Материаловедения, сварки и производственной безопасности»

#### **Аннотация**

Изучены причины появления дефектов деталей, выращенных на 3D принтере Designer PRO 250. Исследованы механические свойства образцов из ABS-пластика, выращенных по оптимальному режиму. Проведено сравнение свойств ABS-пластика, полученного по различным технологиям.

#### **Annotation**

Investigated causes of defective parts, grown in a 3D printer Designer PRO 250 and the mechanical properties of the samples of ABS plastic, grown at optimum mode. Comparison of properties of ABS-plastic, obtained by different technologies

#### **Введение**

Аддитивные технологии открыли перед современным миром уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов. Во всех методах при изготовлении изделия используется один и тот же базовый пятиэтапный процесс, а именно:

создание проектируемой CAD-модели; преобразование CAD- модели в формат STL; разделение STL модели на тонкие слои поперечного сечения; построение объекта слой за слоем; очистка и доводка объекта.

STL-файл является стандартным для каждого процесса аддитивного производства. В этом процессе чертеж, сделанный в программном обеспечении CAD, аппроксимируется треугольниками и нарезкой, содержащими информацию о каждом слое, который будет напечатан. Различия заключаются в способе нанесения слоя, применяемых материалах, точности «построения» изделий, в величине шага между слоями и, как следствие, в эксплуатационных характеристиках получаемого изделия.

Материалы для аддитивных технологий могут быть жидкими (фотополимерные смолы, воски и др.), порошкообразными, в виде тонких листов (полимерные пленки, листы бумаги и др.), а также в виде полимерной нити или металлической проволоки, расплавляемой непосредственно перед формированием слоя построения.

В настоящее время нашли широкое применение следующие методы прототипирования из пластмассовых материалов [1]:

1. Стереолитография. В основе этой технологии лежит фотоинициированная в заданном объеме полимеризация в результате которой твердеет жидкий материал;
2. LOM-технология (Laminated Object Manufacturing) - изготовление слоистых моделей методом послойного склеивания элементов, вырезанных из листового материала;
3. FDM-технология (Fused Deposition Modeling) –послойное наложение расплавленной полимерной нити.

Для принтеров, реализующих метод послойного наложения расплавленной полимерной нити, разработанный компанией Stratasys в 1990 году[2], в качестве расходного материала используются нити из ABS, HIPS, PVA, PLA– пластиков [3]. Для PLA-пластика (полилактид) не существует российских аналогов, однако первые три полимера производятся отечественными производителями, что позволяет широко использовать данный метод в России.

3D принтер Designer PRO 250 производства российской фирмы Picaso 3D используется в медицине, археологии, архитектуре, палеонтологии и других сферах человеческой деятельности. Главной особенностью этого оборудования является возможность печати двумя материалами изделий сложной формы, что позволяет значительно расширить границы применения персональных 3D принтеров.

В 3D-принтере Designer PRO 250 математическая модель изделия, представленная в формате STL, преобразуется в специальные программы под управлением которых работает принтер: программа Polygon 2.0 используется для печати с использованием одной катушки пластика или двумя катушками разных цветов одного типа пластика; программа KISSlicer PRO используется для печати сложных одноцветных изделий высокого качества с поддержкой из растворимых материалов, например HIPS или PV.

Далее после выполнения предварительных мероприятий запускается процесс послойного создания модели. Термопластичная нить подается с катушки в экструдер, где нагревается до полужидкого состояния и выдавливается через сопло в виде нити, оседает на поверхности рабочего стола или на предыдущем слое, соединяясь с ним. Экструдер перемещается в горизонтальной плоскости согласно управляющей программе, постепенно формирует контур будущего изделия, потом заполняет пространство внутри контура, после чего происходит вертикальное перемещение на толщину слоя, и процесс повторяется до тех пор, пока модель не будет полностью построена.

Как известно, физико-механические свойства материалов в значительной степени зависят от технологии их получения. Современные аддитивные технологии предоставляют возможность создания точных по размерам и форме изделий, однако их свойства системно не изучаются и в этой связи трудно рекомендовать тот или иной способ данных технологий для получения изделий конструкционного назначения, т.е. для изделий, которые находятся подчас в сложных условиях воздействия внешней среды, в том числе и механических нагрузок.

Однако для создания изделий конструкционного назначения на принтере Designer PRO 250 в настоящее время отсутствуют системные исследования в области оптимизации его рабочих параметров по критериям точности выполняемых размеров, а также прочности таких конструкций.

Поэтому целью настоящей работы является изучение стандартных физико-механических свойств ABS- пластика, полученного по оптимальному режиму управления 3 D принтера Designer PRO 250. Критерием оптимизации послужило отсутствие видимых дефектов поверхности и точность воспроизведения размеров стандартных образцов.

*Изготовление образцов.* С помощью программы «КОМПАС - 3D» были изготовлены стандартные образцы из ABS-пластика для исследования механических свойств при растяжении (рисунок 1а, сжатии (рисунок 1б) и изгибе (рисунок 1в).

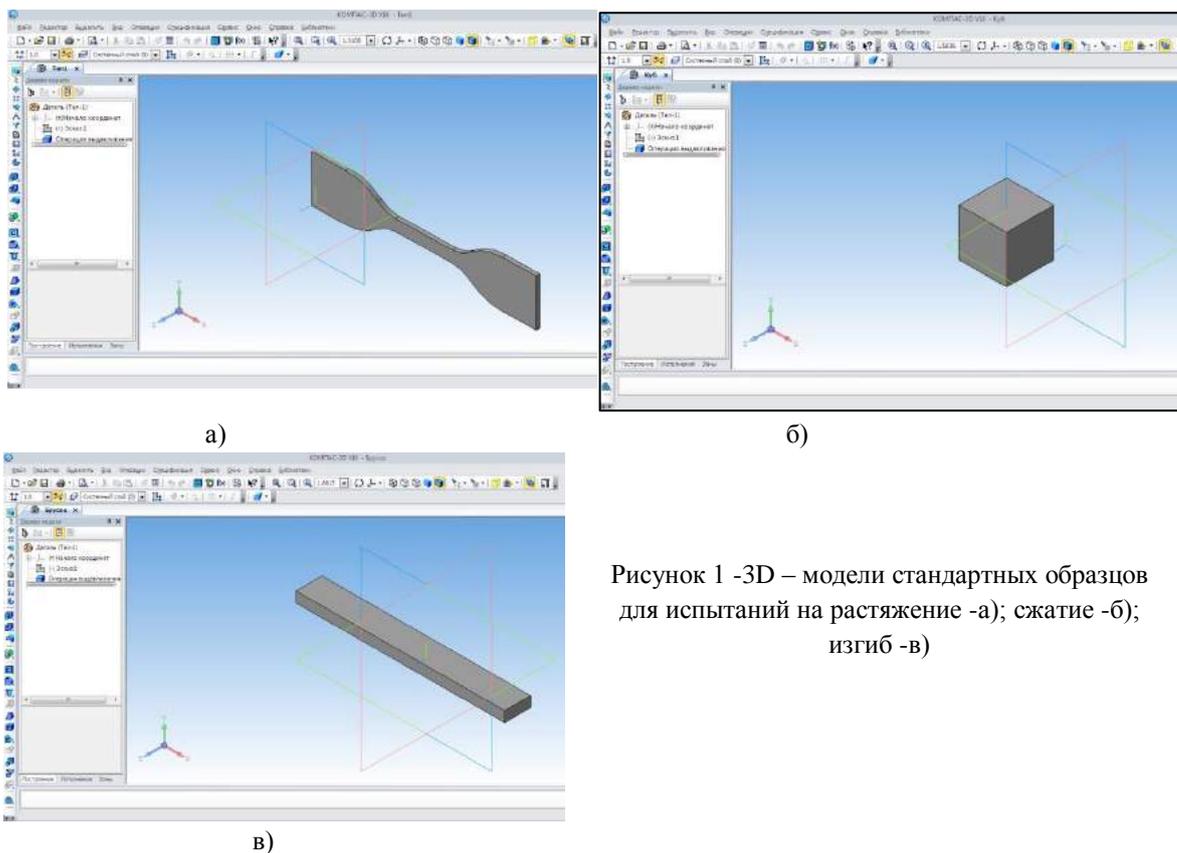


Рисунок 1 -3D – модели стандартных образцов для испытаний на растяжение -а); сжатие -б); изгиб -в)

*Подбор оптимального режима печати образцов.* Принтер управляется достаточно большим количеством параметров. Неоптимальный режим работы принтера может вызвать отклонение размеров изделия от номинальных в результате усадки материала, газонасыщение, прилипание детали к рабочему столу и т.п., а также способствовать получению деталей с низкими физико-механическими характеристиками.

Подбор оптимальных режимов работы принтера выполнены на стандартном образце для испытания на сжатие. Печать образца осуществлялась по 7 режимам, представленным в таблице 1. При этом следующие параметры печати поддерживались постоянными на всех изученных режимах: диаметр нити пластика – 1,75 мм; диаметр сопла – 0,3 мм; температура экструдера для 1-го слоя - 250° С, температура стола для 1-го слоя - 110° С, для остальных слоев - 100° С; коэффициент подачи – 1.

В ходе печати по режиму 1 без проведения обезжиривания рабочего столика образец начал отслаиваться от поверхности рабочего стола, что повлекло за собой возникновение дефекта в виде смятия на одной из его стенок. В углу образца, помимо отслоения, появились прижоги пластика (рисунок 2а и 2б).

Для исключения этих дефектов рабочий столик и кончик пластиковой нити обезжирили спиртом, затем нанесли лак на поверхность рабочего столика. Первоначально слои пластика хорошо накладывались, однако затем углы левой стенки образца стали деформироваться и сминаться. Это привело к появлению несплошности по левому краю образца (рисунок 2в) и образованию неровности поверхности (рисунок 2г). Данный дефект, по-видимому, возник из-за низкого процента заполнения и нарушения калибровки стола.

Таблица 1. Параметры печати модели «куб»

Параметры /режим	1	2	3	4	5	6	7
Толщина слоя, мм	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Степень заполнения, %	20	24	24	24	25	100	100
Скорость печати, мм/с.	45	45	30	15	30	30	45
Температура	250	250	240	240	240	250	250

экструдера для последующих слоев, ° С							
Наличие охлаждения	-	-	-	-	+	-	-

Чтобы исключить дефекты на углах модели, было выполнено скругление граней на 1 мм (*режим 2*). Однако в ходе печати на левых гранях образца появился тот же дефект, что и на предыдущих образцах, но уже в виде рыхлоты и менее выраженный (рисунок 2д). Вероятной причиной сохранения дефекта является недостаточный обдув и неверно подобранная температура экструдера./

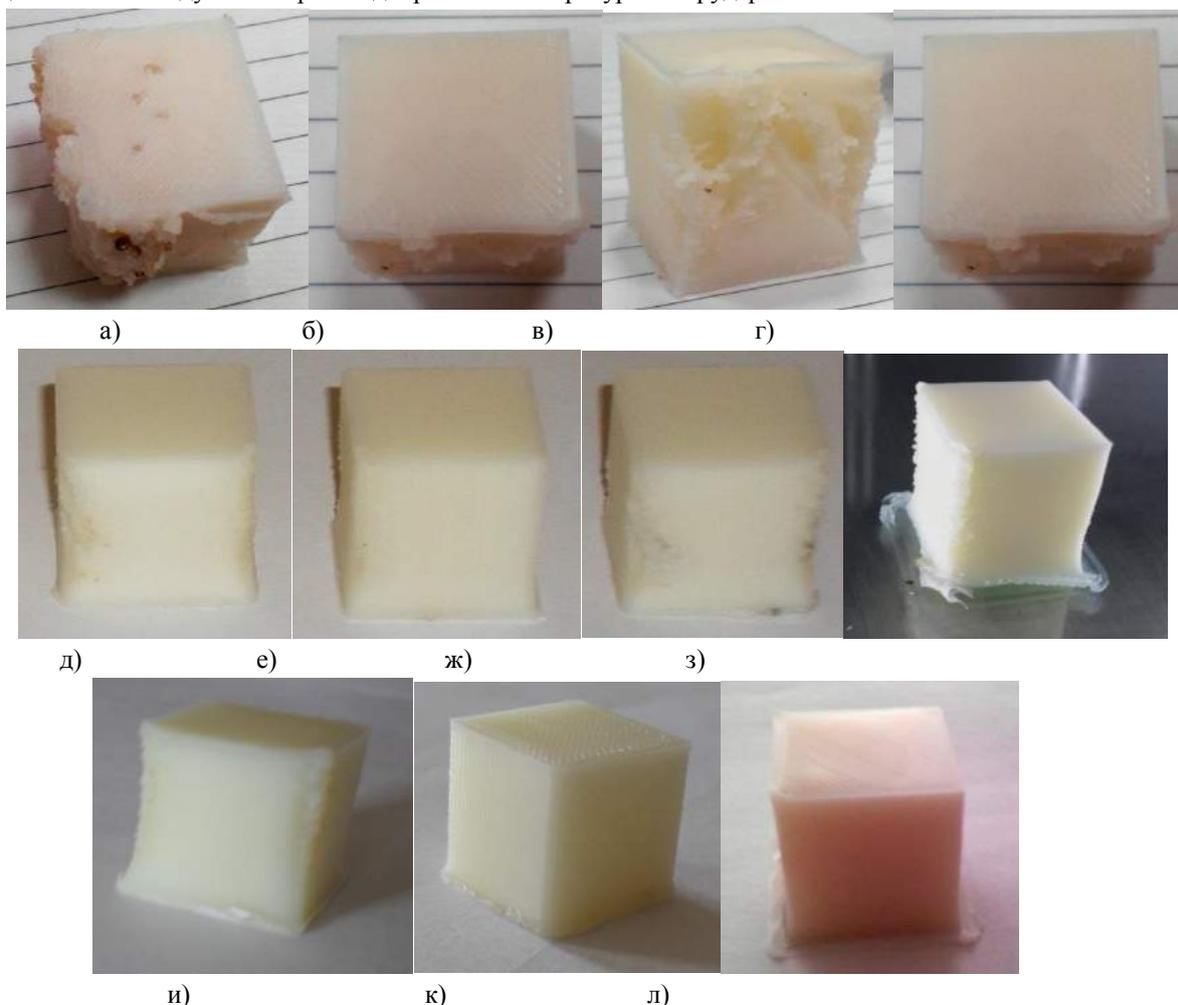


Рисунок 2 – Дефекты в образце «Куб» из ABS – пластика: режим 1: а) отслоение и прижоги; б) провисание на верхнем слое; в) несплошность; г) неровность поверхности; режим 2: д) рыхлота на скругленных углах; режим 3: е) образец со скругленными углами; ж) и з) – рыхлоты на гранях; режим 4: и) смятие грани, искажение размеров; режим 5: к) – образец без дефектов; режим 6: л) – образец без дефектов

На *режиме 3* печатался куб со скругленными гранями, как по предыдущему режиму. При этом на рабочее сопло нанесли графит и установили катушку со вторым пластиком. В результате печати от дефекта на гранях полностью избавиться не удалось, но дефект стал практически не заметен (рисунок 2е). При вращении 3D – модели по оси Z на 45° рыхлота на гранях сохраняется (рисунок 2ж). На этом режиме был получен образец и без скругления углов, однако тоже с дефектам в виде отслоения одного угла от поверхности и охрупчивание граней куба (рисунок 2з).

Поскольку время печати образцов размером 20x20x20 в среднем составляет 1ч. 9 мин. 31 сек, при исследовании *режима 4* были уменьшены габариты модели до 15x15x15 мм. Однако при этом время печати сократилось незначительно: до 1ч. 8 мин. 32 сек. На рисунке 2и изображен полученный образец, на

котором был выявлен дефект в виде смятия одной из граней. Фактические размеры полученного образца составляют 14x14x15 мм. Отклонение действительных размеров от номинальных произошло из-за усадки материала.

Режимы 5 и 6 обеспечили получение бездефектных образцов, у которых габариты образца соответствуют номинальным. Отличительной особенностью 5 режима было наличие охлаждения образца при печати, а режима 6 - 100%-ное заполнение объема образца материалом.

7 режим (100%-е заполнение модели материалом и увеличенная скоростью печати до 45 мм/с) также обеспечили получение бездефектных образцов. Именно этот режим был выбран для печати стандартных образцов для механических испытаний (рисунок 3). Испытание на растяжение было проведено в соответствии с ГОСТом 11262-80, образец тип 1.



Рисунок 3- Внешний вид стандартных образцов для испытаний: а) образец для испытания на статический изгиб; б) образец для испытания на статическое растяжение

В 3D принтере Designer PRO 250 диапазон изменения скорости печати варьируется от 5 до 80 мм/с.

Для изучения свойств материала скорость печати была выбрана 15-45-80 мм/с. Внешний вид полученных образцов различается: бездефектным получился лишь образец, изготовленный со скоростью 15 мм/с. Образцы, изготовленные со скоростью 45 мм/с и 80 мм/с, имеют неровности и повышенную шероховатость поверхности.

Испытание на растяжение осуществлялось на испытательной машине AUTOGRAPHAG–X корпорации SHIMADZU, имеющей максимальное усилие до 50 кН и плавную регулировку степени деформирования. В таблице 2 представлены результаты испытания, из которой следует, что чем ниже скорость печати, тем выше пластичность материала и модуль упругости. При этом предел прочности имеет максимальное значение при скорости печати 45 мм/с. Однако диапазон рассеяния этой характеристики по трем режимам печати всего 2,4 Н/мм<sup>2</sup>. Полученные значения прочности соответствуют стандартным значениям прочности литьевого ABS – пластика [4]. Однако обращается на себя внимание пониженные значения модуля упругости и особенно относительного удлинения. Таким образом, при проектировании конструкционных деталей из данного пластика, полученных по FDM-технологии, следует иметь в виду, что материал будет обладать пониженной пластичностью и жесткостью.

Таблица 2. Влияние скорости печати на механические свойства ABS – пластика

Скорость печати образцов, мм/с	Модуль упругости, Е, Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности при растяжении, $\sigma$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, $\delta$ , %
15	1524,0	41,3	11,5
45	1463,0	42,8	7,6
80	1399,0	40,4	6,5
ABS – пластик литьевого	2000-2500	30 - 45	15 -40

Механические характеристики при сжатии (ГОСТ 4651-2014) и изгибе (ГОСТ 4648-2014) оценивали при скорости печати 45 мм/с. и степени заполнения 100%. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Механические свойства ABS – пластика при сжатии и изгибе

Характеристика	При сжатии	При изгибе
Модуль упругости, E, Н/мм <sup>2</sup>	1264,5	1900,2
Предел прочности, σ, Н/мм <sup>2</sup>	124,1	59,8
Отн. сжатие, δ, %	63,1	-

При испытании на статический изгиб было проведено измерение изменения внешних углов изгиба после снятия нагрузки. До снятия нагрузки внешний угол составил 95 - 98°, а после снятия нагрузки – 44-47°, т.е. изменение произошло более чем в два раза, что свидетельствует о достаточно высоких упругих свойствах ABS – пластика, выращенного FDM-технологией.

#### Заключение

При подборе оптимального режима печати ABS-пластика, выращенного FDM-технологией, было выявлено, что наибольшее влияние на качество изготавливаемых образцов оказывают такие параметры, как процент заполнения образца и скорость печати. Установлено, что 100%-ное заполнение материалом объема образца устраняет дефекты типа смятие граней, рыхлоты. Подобрана скорость печати – 45 мм/с., обеспечивающая наилучшие механические свойства пластика. Однако получено, что чем ниже скорость печати, тем выше пластичность материала и модуль упругости. Полученные значения прочности соответствуют стандартным значениям прочности литьевого ABS – пластика. Однако значения модуля упругости и относительного удлинения являются достаточно низкими, что необходимо учитывать при проектировании конструкционных деталей из данного пластика.

#### Список литературы

1. Валетов В. А. Аддитивные технологии // Санкт-Петербург.- изд-во ун-та ИТМО. – 2015.- 55 с.
2. Абрамова И.А., Полков Д.А. Технология послойного наплавления (Fused deposition modeling) // Наука и военная безопасность -2016. - №3(6) – С. 111-114.
3. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Воронцов Р.В. Материалы, доступные в рамках различных технологий 3D-печати // Современные наукоемкие технологии.- 2015.- № 5.- С. 20-25.
4. Энциклопедия полимеров, том 1 // изд-во Машиностроение.- 1974.-700 с.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УДАЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ И СУЛЬФАТОВ ИЗ ОКАТЫШЕЙ

**Ряполов В.В., Пивикова М.С.**

СТИ НИТУ МИСиС, РФ, г. Старый Оскол

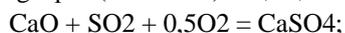
В процессе окислительного обжига окатышей большая часть вредных примесей не удаляется. Исключение составляет сера – находясь в концентрате в виде сульфидов железа, сера имеет большую степень удаления (порядка 95-99%).

Атмосфера окислительного обжига обеспечивает высокую степень окисления серы, перевода ее в газовую фазу в виде SO<sub>2</sub> и удаления из шихты. Выявлено, что SO<sub>2</sub> и газообразная сера могут поглощаться оксидами железа, кальция, магния, ферритами и силикатами кальция. Значит, задача удаления серы при обжиге окатышей связана с условиями образования и разложения сульфатов (главным образом сульфата кальция) [1].

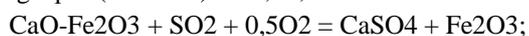
Термодинамическим анализом найдено, что CaO в различном виде может поглощать SO<sub>2</sub> уже при 400—800 °С:



$$\lg K_p = (-16\ 850/T) + 5,68;$$



$$\lg K_p = (26\ 120/7) + 13,93;$$



$$\lg K_p = (2500/7) + 13,93.$$

Из этого следует, что при обжиге офлюсованных окатышей вероятно образование определённого количества сульфата кальция при этом итоговая степень десульфурации непосредственно зависит от его разложения серных соединений. При 1360 °С за 20 мин. возможно разложение лишь половины сернистых соединений, при этом при 1100—1300 °С без присутствия оксидов железа, алюминия и кремния сульфат кальция не разлагается совсем. Так же на содержание серы в окатышах будет оказывать влияние температурный режим обжига. Например, при медленном нагреве происходит улучшение усвоения газообразной фазы будет возрастать и при достижении температуры обжига вся сера будет находиться в виде сульфата кальция. Скорость разложение кальция будет возрастать с повышением температуры. Например, повышение температуры с 1200 до будет приводить к снижению содержания серы 0,08 до 0,02%. [2].

С одной стороны при повышении температуры обжига приводит к увеличению степени десульфурации, а с другой стороны может образовываться оплавленная структура внутри окатыша с развитием процесса образования жидких и размягчённых фаз. В связи с этим уменьшается скорость десульфурации. Таким образом, экстремальное изменение зависимости серы в окатышах зависит от температуры, при этом положение максимуму определяется химическим составом.

Удаление серы в большей степени зависит от основности окатышей. Изменение  $\text{SiO}_2$  от 0,51 до 1,56 приводит к увеличению содержания серы с 0,02 до 0,063%. Замена известняка в окатышах доломитом или доломитизированным известняком приводит к значительному снижению содержания серы в окатышах, так как сульфат магния как менее прочное, чем сульфат кальция, соединение начинает разлагаться на 100-150 °С раньше, обеспечивая более полное протекание процесса удаления серы [2].

Десульфурация зависит также и от других причин. Ее полноте способствуют большее время обжига, мелкий помол кусков известняка, уменьшение размеров окатышей и др. Кроме того, имеет значение состав газовой среды. По мере увеличения содержания кислорода в газе окисление сульфидов протекает интенсивнее. Разложение сульфатов, наоборот, при этом замедляется.

Современное направление в совершенствовании черной металлургии предусматривает повышенное внимание к качеству производимой продукции. На окончательный результат получаемого продукта прямое воздействие оказывают его шихтовые материалы. Для изготовления стали используют металлургические полупродукты – окатыши, определенного химического состава. Уже известно, что сера является вредной примесью для металлургического производства. Попав в составе окатышей, она в дальнейшем оказывает влияние на качество продукции, образуется эффект красноломкости. Для упрочнения сырые окатыши проходят методические технологические зоны высокотемпературной обработки на обжиговой машине.

Для исследования десульфурации окатышей при различной температуре, в лаборатории кафедры металлургии и металловедения СТИ НИТУ «МИСиС» были проведены эксперименты.

Цель исследований состояла в установлении температурной зависимости разложения пирита и пирротина, присутствующих в железорудном концентрате. Для исследований был взят железорудный концентрат АО «Лебединский ГОК», в котором сера присутствует в форме пирита и пирротина. Шихтовые материалы железорудных окатышей – это концентрат и бентонитовый порошок. Получение сырых окатышей проведено по специальной методике, аналогично получению их на горно-обогательном комбинате.

В этот раз, был более подробно исследован интервал температур 550-1000<sup>0</sup>С, по сравнению с Полученная проба сырых окатышей разделялась на 12 частных проб весом по 100г. Частные пробы были размещены в лабораторной печи СНОЛ. Нагрев печи осуществлялся от температуры 550 до температуры 1100<sup>0</sup>С с интервалом в 50<sup>0</sup>С. После термической обработки, каждая проба окатышей охлаждалась, и определялся химический состав пробы с целью определения содержания серы. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

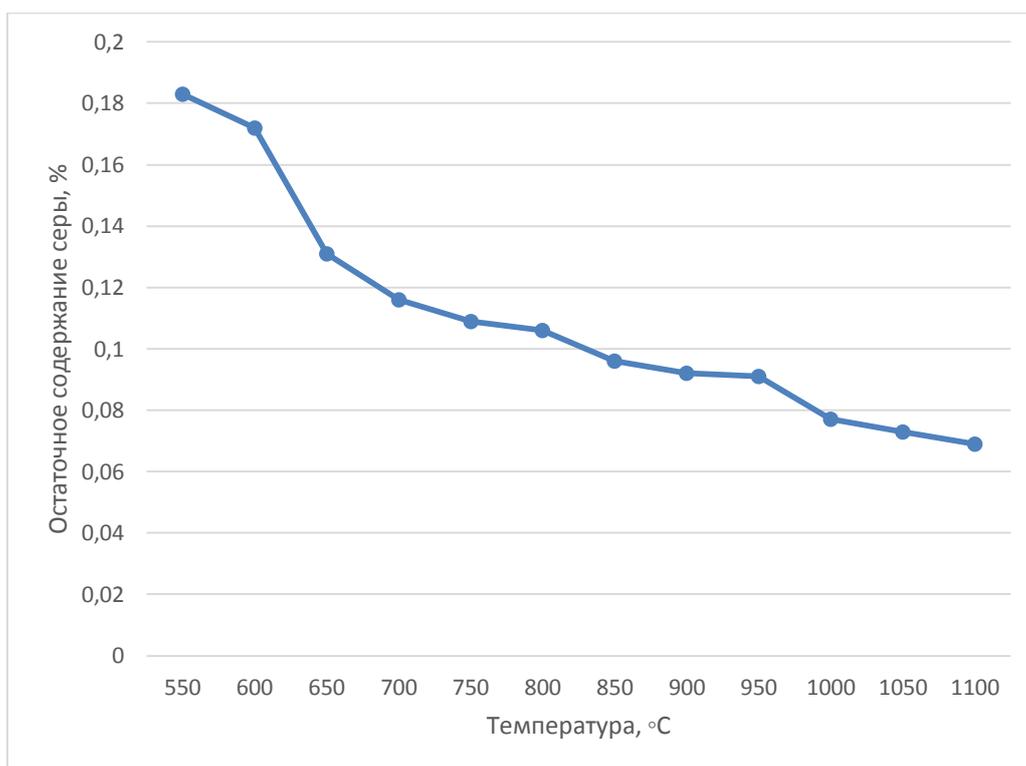
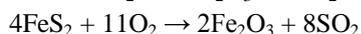
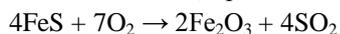


Рисунок 1 - Зависимость остаточного содержания серы в окатышах при повышении температуры

Реакции, протекающей при обжиге сульфидов железа в кислороде:



Ранее нами было выявлено, что пирит, присутствующий в руде Лебединского месторождения начинает окисляться с температуры 400°C, и интенсивное его выгорание происходит в диапазоне от 550°C до 750°C. Далее в интервале температур от 750°C до 950°C наблюдается некоторая стабилизация остаточной серы в окатышах, и после увеличения температуры термической обработки выше 950°C, выгорания серы интенсифицируется.

Если начальное содержание серы в окатышах принять за 100%, то расчеты показали, что при достижении 850°C, выгорает около 60% серы, которая представлена пиритом. Пиротиновая сера начинает выгорать при температуре 1000°C, при достижении 1100°C окисляется практически 95% сульфидов.

Как известно окисление сульфидов железа происходит по поверхности минерального зерна, проникновение кислорода вглубь кристалла происходит за счет диффузионных процессов. [2] Снижение скорости окисления сульфидов объясняется несколькими факторами:

- постепенным снижением концентрации сульфидов по мере окислительного процесса;
- по мере окисления поверхностных минералов сульфида скорость химических реакций лимитируется диффузионными процессами, как кислорода в порах окатыша, так внутри зерна.

Вывод:

1. Содержание пирита и пирротина в рудах Лебединского месторождения примерно 50:50.
2. Пиротин начинает активно взаимодействовать с кислородом воздуха при температуре выше 1000°C.
3. При достижении 1200°C, при отсутствии оксидов кальция, окисляется около 95% сульфидов, присутствующих в шихтовых материалах.
4. Проводятся дальнейшие исследования по исследованию десульфурации окатышей.

### Список литературы

1. Вегман Е.Ф. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман – Москва: - 3-изд., переработанное и дополненное. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004 - 774 с.

2. Определение минерального и химического состава сульфидов из рессевов дообогащенного концентрата Лебединского ГОКА. Отчет НИУ «БелГУ». 2011г. 116с.
3. Копырин, И.А., Борц Ю.М., Граур И.Ф. Производство окатышей различной основности. М.: «Металлургия». 1975. - 192 с.
4. IX Международная студенческая научная конференция [Электронный ресурс] / Библиотека нормативной документации. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/46/46023/>.

## **СЕКЦИЯ №8.**

### **ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00)**

## **СЕКЦИЯ №9.**

### **АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10)**

#### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ «АСКМ-М»**

**Шалумов А.С.<sup>1</sup>, Шалумов М.А.<sup>2</sup>, Ильин С.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ООО "АСКМ "Прогресс", РФ, г. Москва

<sup>2</sup>Владимирский филиал РАНХиГС, РФ, г. Владимир

В процессе эксплуатации механические воздействия вызывают от 30 до 50% отказов космической и авиационной радиоэлектронной аппаратуры (КАРЭА), подавляющее большинство которых связано с выходом за пределы, установленные нормативно-технической документацией, механических характеристик конструкций – ускорений, перемещений, напряжений, что приводит к нарушению прочности и устойчивости работы аппаратуры. Кроме того, при эксплуатации на аппаратуру могут одновременно действовать несколько видов механических воздействий, например, вибрации, удары и акустический шум; линейное ускорение и акустический шум и т.д. [1, 2].

Для прогнозирования и предотвращения отказов КАРЭА из-за механических воздействий разработана автоматизированная подсистема анализа и обеспечения стойкости КАРЭА к механическим воздействиям «АСКМ-М».

Подсистема обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчёт механических характеристик типовых и произвольных конструкций КАРЭА при воздействии гармонической вибрации;
- расчёт механических характеристик типовых и произвольных конструкций КАРЭА при воздействии случайной вибрации;
- расчёт механических характеристик типовых и произвольных конструкций КАРЭА при воздействии одиночных ударов;
- расчёт механических характеристик типовых и произвольных конструкций КАРЭА при воздействии многократных ударов;
- расчёт механических характеристик типовых и произвольных конструкций КАРЭА при воздействии линейных ускорений.

Благодаря возможностям подсистемы можно получить: на выходе поля выходных величин (перемещений, ускорений, напряжений), графики амплитудно-частотных и амплитудно-временных характеристик, абсолютные и относительные значения, значения выходных величин в узлах конечно-элементной сетки, процентное превышение напряжений над допустимыми значениями, деформированное состояние конструкций с учетом фактора усиления и анимацию отклика конструкции КАРЭА на механические воздействия.

Этапы определения динамических характеристик блока КАРЭА:

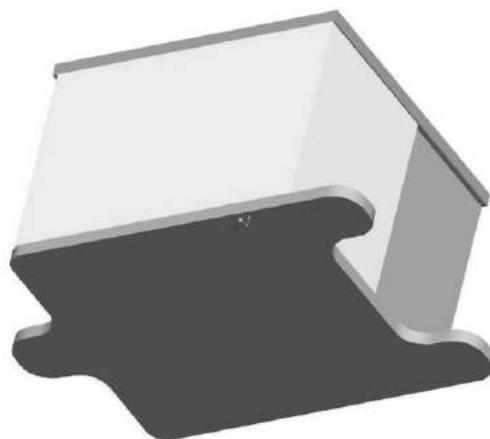
- 1) построение геометрической модели блока в системе АСКМ-М с использованием специализированного интерфейса;
- 2) задание атрибутов материалов и параметров сетки;
- 3) задание граничных условий закрепления блока;
- 4) построение конечно-элементной модели блока;
- 5) задание параметров механического воздействия;
- 6) проведение моделирования;
- 7) анализ результатов моделирования.

Конечно-элементная модель блока КАРЭА, равно как и детали при сборке, строится автоматически. В настоящее время импорт 3D-моделей производится из любой CAD-системы в форматах IGES, STEP, SAT.

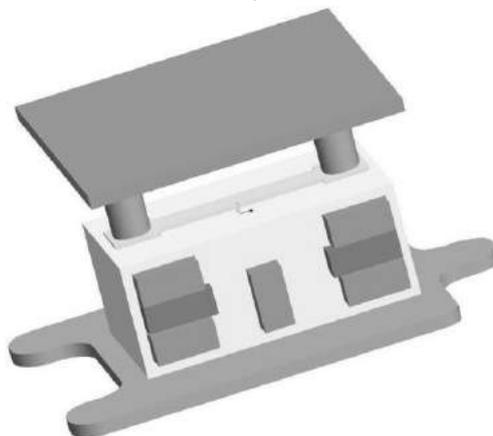
Рассмотрим пример создания конечно-элементной модели блока (рис. 1).

Порядок построения конечно-элементной модели блока КАРЭА следующий.

Шаг 1. Запускаем подсистему АСКМ-М. Выполняем команду главного меню «Правка\Добавить элемент» и выбираем пункт «Блок сложный (универсальный)». Затем сохраняем проект. Выделяем пункт «Блок сложный (универсальный)» в дереве объектов и нажимаем на кнопку «Просмотр» панели инструментов.



*а)*



*б)*

Рис. 1. 3D-модель блока с крышками (*а*) и без крышек (*б*)

Шаг 2. Произведем импорт геометрии блока из CAD-системы.

Шаг 3. Используя операции перемещения, поворота и изменения масштаба, произведем масштабирование и изменение положения локальной системы координат блока.

Шаг 4. Выбираем материалы для деталей конструкции блока. Если для какой-либо детали материал не указан, то при моделировании используем параметры материала, заданного в целом для всей конструкции.

Шаг 5. Задаём параметры сетки по аналогии с заданием материала: либо для каждой детали, либо в целом для всей конструкции.

Шаг 6. Для задания граничных условий закрепим лапки блока.

Шаг 7. Завершаем работу графического интерфейса с сохранением. При необходимости модель блока можно отредактировать, при этом не обязательно каждый раз производить импорт геометрии прибора.

Шаг 8. Выбираем параметры механических воздействий и запускаем операцию расчёта. Конечно-элементная модель блока строится в автоматическом режиме на основе модели блока, описанной в графическом интерфейсе. Задание механического воздействия, выполнение расчёта и отображение результатов моделирования производится в соответствии с руководством пользователя подсистемы АСКМ-М.

На рис.2 показаны конечно-элементная модель и поля ускорений гармонической вибрации прибора на первой резонансной частоте 583 Гц.

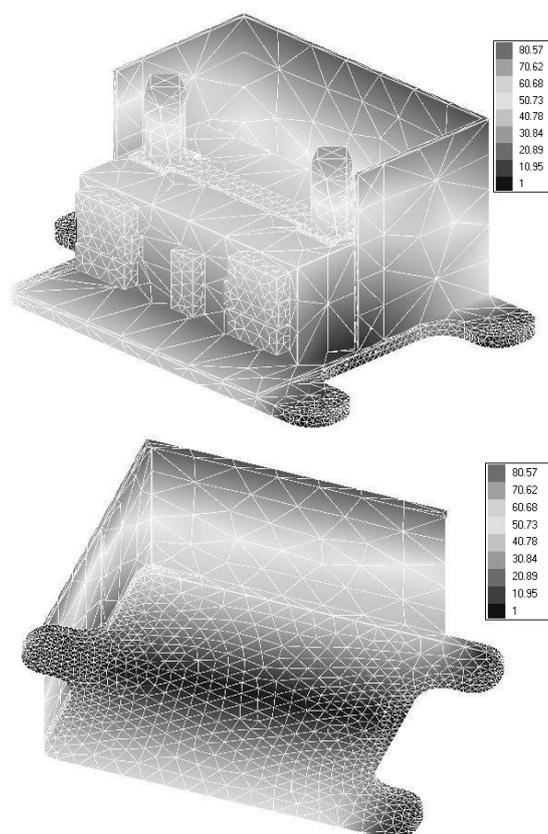


Рис.2. Результаты моделирования блока

Примеры физических моделей цилиндрического, кассетного и этажерочного блоков, созданные в графическом интерфейсе подсистемы АСКМ-М, представлены на рис.3.

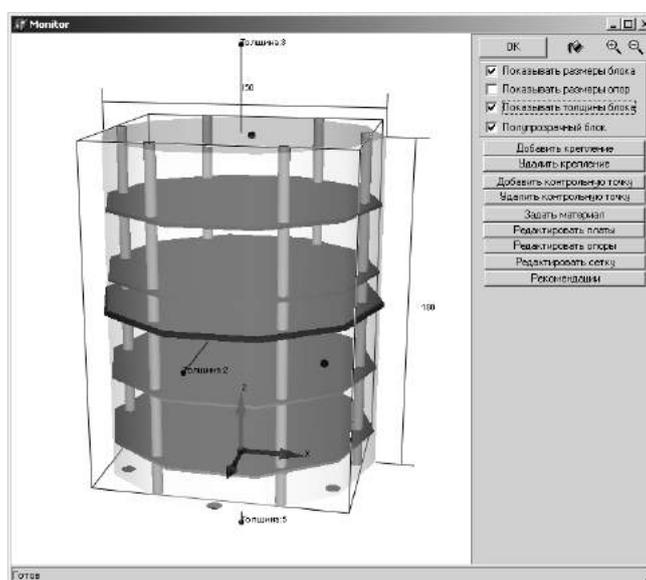
Для цилиндрического блока (рис.3,а) заданы пять плат с размещёнными на них электрорадиоизделиями разной толщины (1,5...2,5 мм) и массы, шесть опор, проходящих через весь блок. Край средней платы жестко соединён со стенками блока. На верхней и боковой стенках блока заданы две контрольные точки. Блок крепится через дно посредством шести опор.

Для кассетного блока (рис.3,б) тоже заданы пять плат с различными параметрами. Все платы закреплены в направляющих, расположенных на дне и верхней стенке блока. С передней части блока платы вставлены в разъемы. Одна плата жестко связана с блоком и с противоположной стороны разъёма. На боковой и передней стенках блока заданы две контрольные точки. Блок соединён с нижней стенкой посредством четырех круглых креплений.

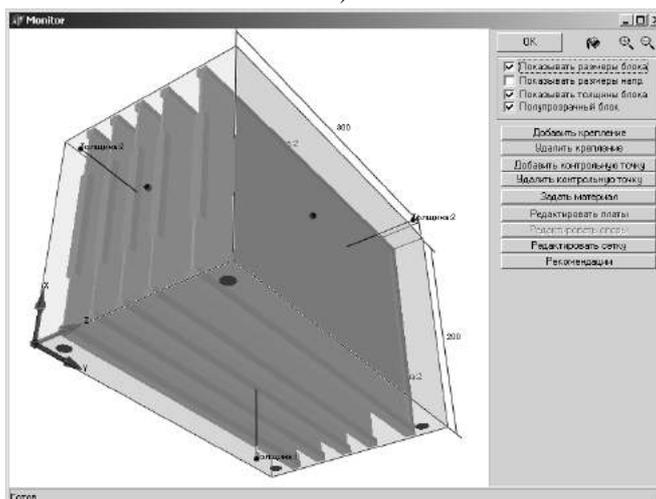
Для этажерочного блока (рис.3,в) заданы четыре платы с восьмью опорами, проходящими от дна блока до последней платы. Каждая плата имеет свои параметры. Крепления блока расположены по углам нижней стенки. На боковых стенках заданы две контрольные точки.

Основное отличие интерфейса модели сложного этажерочного блока (рис.4) от рассмотренного (см. рис.3,в) состоит в возможности ввода в блок нескольких этажерок, каждая из которой может иметь свои параметры и сложную конструкцию. В сложном этажерочном блоке к основанию можно использовать крепления в виде лапок (рис. 4). Панель редактирования лапок крепления блока позволяет производить операции добавления, удаления и редактирования. Для ввода лапки крепления указывается её толщина, координаты расположения и габариты. Координата лапки крепления по оси Z равна нулю, т.е. она присоединяется к основанию и изготовлена из того же материала, что и основание. Число задаваемых лапок произвольно.

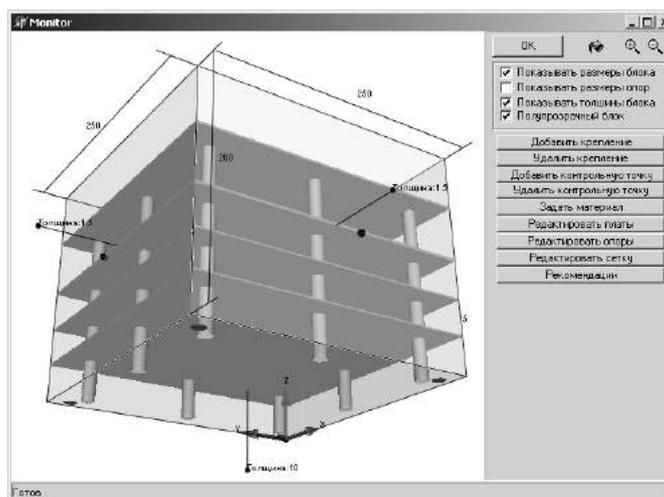
Панель редактирования этажерок содержит в себе три панели для работы с параметрами этажерки, параметрами плат, параметрами шпилек. В панели для работы с параметрами этажерки задается смещение этажерочной конструкции относительно системы координат блока по осям X и Y, режим прохождения шпилек, число плат, материал плат и шпилек и температура шпилек. Как и в простой этажерочной конструкции, шпильки могут крепиться сразу и ко дну, и к верхней стенке блока (режим 1), крепиться только ко дну (режим 2) или только к верхней стенке блока (режим 3). Задаваемые отдельно материал и температура будут использоваться по умолчанию в дальнейшем для каждой платы и шпильки в пределах активной этажерки.



а)



б)



б)

Рис.3. Физические модели цилиндрического (а), кассетного (б) и этажерочного (в) блоков

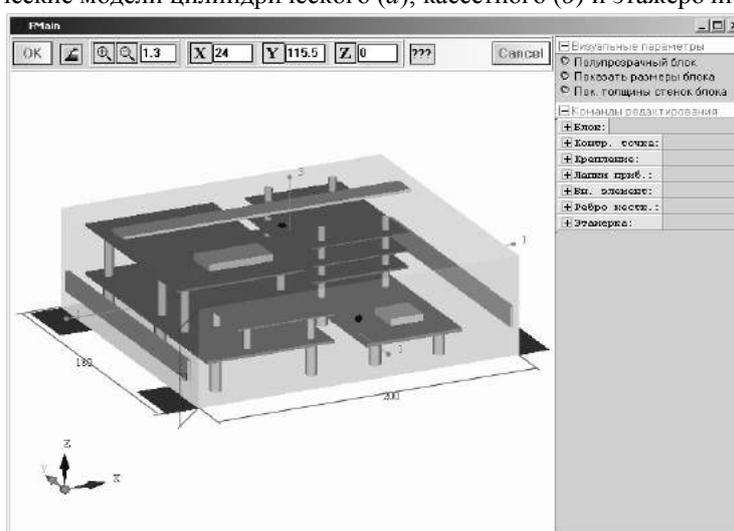


Рис.4. Физическая модель второго сложного этажерочного блока (с ребрами жесткости и лапками крепления)

### Список литературы

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.
2. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

**СЕКЦИЯ №10.**

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00)**

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Болотов Г.С.

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

**АННОТАЦИЯ:** *развитие различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры и других видов деятельности влечет за собой необходимость очистки сточных вод, что является одной из актуальных проблем наших дней. Необходимость в очистке сточных вод от различных по химическому составу и агрегатному состоянию загрязнений возникает, если качество исследуемой воды не соответствует нормативным требованиям и определено превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ.*

**Введение.** На протяжении многих лет человечество вынуждено ужесточать требования к сточным водам, которые во времени претерпевают изменения физико-химического характера. Сточные воды, поступающие от потребителей занимающихся разными видами деятельности и образующиеся в природе, принято делить на три условные группы: бытовые; производственные; атмосферные.

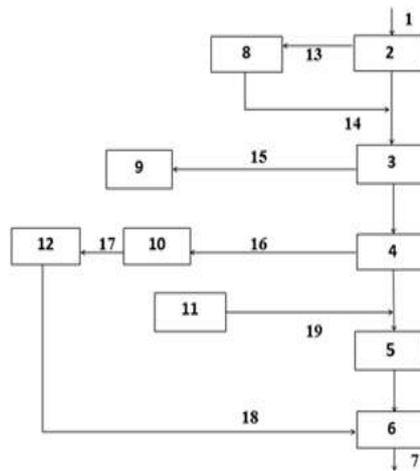
Качество бытовых сточных вод за последние сто лет резко изменились в том числе из-за применения новых химических моющих и чистящих средств в быту. Эти сточные воды, образуются в жилых, административных и других помещениях и поступают в водоотводящую сеть от различных санитарных объектов. В бытовых водах содержатся загрязнители минерального, химического и органического характера, последние из которых являются наиболее опасными с санитарной точки зрения. Бытовые воды чаще всего имеют БПК = 100-400 мг/л; ХПК = 150-600 мг/л, в результате чего их расценивают как сильно загрязнённые сточные воды.

Производственные технологии так же активно развиваются, около 60% промышленных предприятий России активно применяют оборотное водоснабжение (технические жидкости, технологические и промывные воды и др.), что подразумевает под собой использование технической воды повторно. Благодаря данной технологии многие производства прекратили сбрасывать загрязненную воду в водоемы. В сточных водах данного типа могут присутствовать как органические виды загрязнителей, так и неорганические, растворимые и нерастворимые.

Атмосферные (дождевые) сточные воды зависят от состава атмосферы твердых, газовых и парообразных и примесей. Качество осадков во многом определяется способностью капель дождевой воды растворять в себе примеси химических веществ, в том числе способствующих образованию кислотных осадков, что крайне негативно влияет на биологические объекты сельского хозяйства и биосферы в целом. В атмосферных водах преимущественно содержатся нерастворённые минеральные загрязнения и примеси органического происхождения. БПК данных сточных вод равняется 50-60 мг/л.

**Очистка сточных вод.** Очистку сточных вод можно разделить на 3 вида: механические; физико-химические; биохимические.

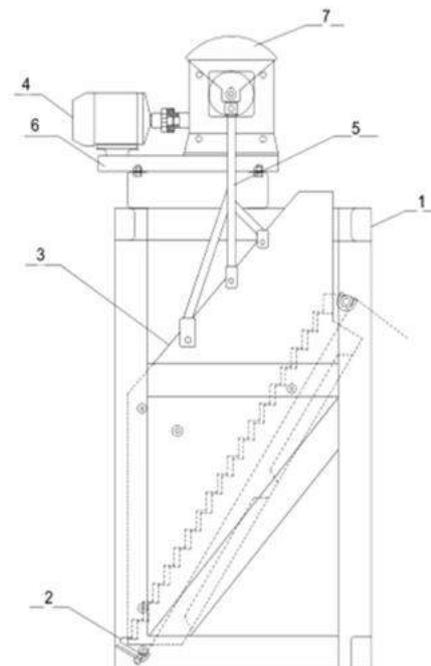
Механическая водоочистка подразумевает под собой первую стадию очистки. К элементам механической очистки сточных вод относят: отстойники, песколовки, решётки, сита, фильтры различных конструкций. Данный вид очистки снижает содержание взвешенных частиц на 50-60% и БПК<sub>полн</sub> на 20-30%.



1-сточная вода; 2-решетки; 3-песколовки; 4-отстойники; 5-смесители; 6-контактный резервуар; 7-выпуск; 8-дробилки; 9-песковые площадки; 10-метантенки; 11-хлораторная; 12-иловые площадки; 13-отбросы; 14-пульпа; 15-песчаная пульпа; 16-сырой осадок; 17-сброженный осадок; 18-дренажная вода; 19-хлорная вода.

**Рисунок 1. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод**

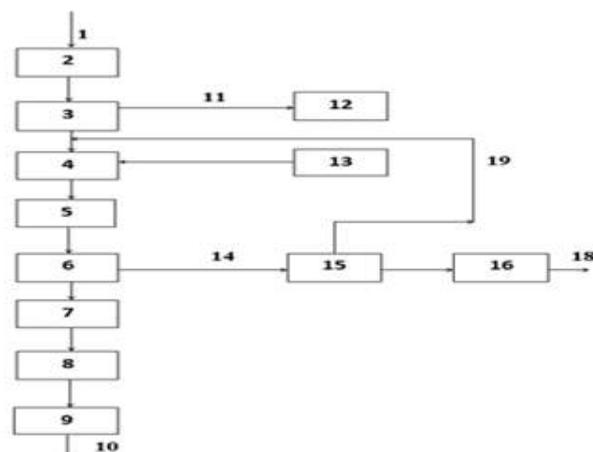
Этот принцип применяется при расходе загрязненных вод не превышающей 10000 м<sup>3</sup>/сут. (рис. 1). При механической очистке еще используют комплексные механизмы, включающие в себя все операции изложенные на рисунке 1. Одним из примеров такого комплексного механизма является пластинчатый фильтр (рис. 2). Работа пластинчатого фильтра минимизирует затраты на электроэнергию, трудозатраты и сокращает время очистки на 15-20%, что делает установку одной из наиболее энергоэффективных механизмов.



1-рама решетки; 2-пакет неподвижных пластин; 3-пакет подвижных пластин; 4-электродвигатель; 5-кривошипно-шатунный механизм; 6-верхняя платформа; 7-противовес.

**Рисунок 2. Пластинчатый фильтр**

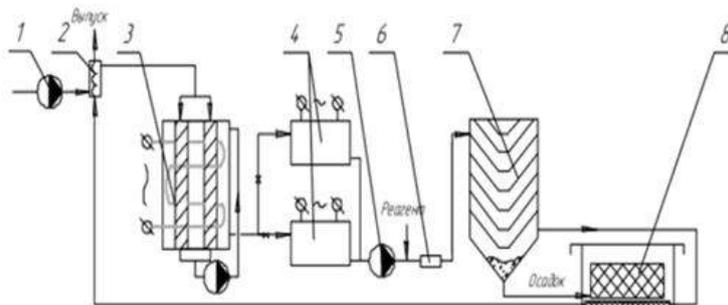
Главная область применения методов физико-химической очистки – водоочистка производственных сточных вод. Мощность данного вида очистки порядка – 10000-20000 м<sup>3</sup>/сут. Технологический процесс данного вида представлен ниже (рис.3).



1-сточная вода; 2-решетки; 3-песколовки; 4-смеситель; 5-камера; 6-горизонтальные отстойники; 7-барабанные сетки; 8-фильтры; 9-контактный резервуар; 10-выпуск в водоем; 11-песок; 12-бункер песка; 13-приготовление и дозирование реагентов; 14-осадок; 15-осадкоуплотнитель; 16-центрифуги; 17-хлораторная; 18-шлам; 19-отстоенная вода.

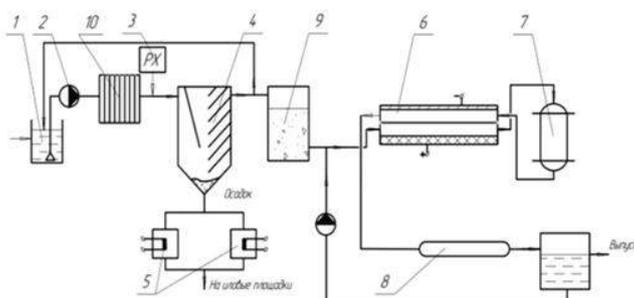
**Рисунок 3. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод**

Физико-химическая очистка очищает сточные воды от мелкодисперсных и растворенных неорганических веществ, устраняет сложно окисляемые и органические связи. Методами этой очистки является: адсорбция, коагуляция, флотация, и др. Самыми эффективными методами обеззараживания сточных вод являются: термический (рис.4), электрокаталитический (рис.5), плазмохимический (рис.6).



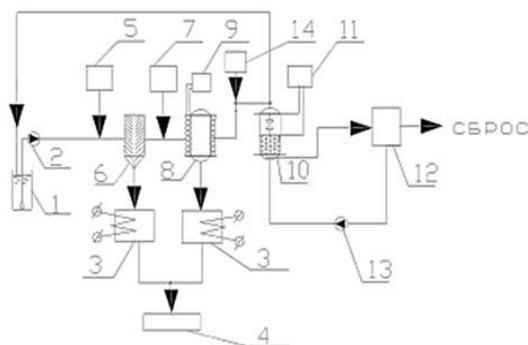
1-насосная станция; 2-теплообменный аппарат; 3-автоклав; 4-электролизер; 5-насосная станция; 6-смеситель; 7-отстойник с тонкослойными модулями; 8-сгуститель осадка со встроенным теплообменным аппаратом.

**Рисунок 4. Термический метод очистки сточных вод**



1-накопитель сточных вод; 2-насос; 3-реагентное хозяйство; 4-отстойник с полочными блоками; 5-накопитель осадка с термоэлектронагревателями; 6-мембранный электролизер; 7-фильтр с каталитическим зернистым материалом; 8-УФ-лампа; 9-фильтр с зернистым материалом; 10-решетки; 11-РЧВ.

**Рисунок 5. Электрокаталитический метод очистки сточных вод**

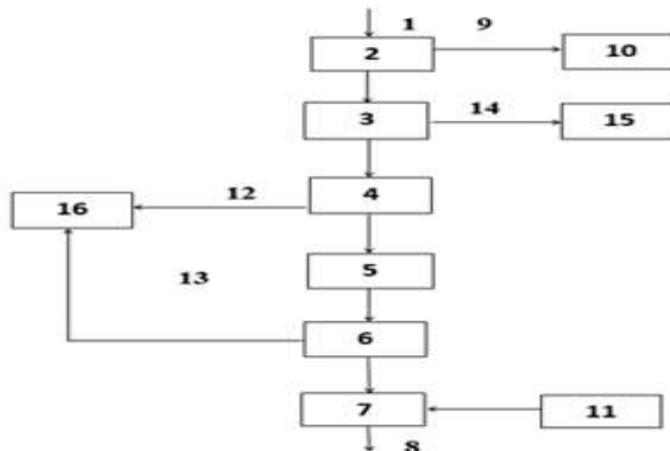


1-колодец; 2-насосная станция; 3-автоклав; 4-иловые площадки; 5-реагентное хозяйство (коагулянт); 6-отстойник; 7-реагентное хозяйство (ферромагнитный сорбент); 8-ферромагнитный фильтр; 9-источник питания; 10-плазмохимический фильтр; 11-генератор импульсных напряжений; 12-РЧВ; 13-промывной насос; 14-компрессор.

**Рисунок 6. Плазмохимический метод очистки сточных вод**

Термический метод эффективен при расходе не более 50 м<sup>3</sup>/сут., электрокаталитический – не более 200 м<sup>3</sup>/сут., плазмохимический – от 100 м<sup>3</sup>/сут. и более. Все перечисленные механизмы водоочистки очень широко используются и имеют ряд преимуществ перед остальными методами физико-химической водоочистки.

Биологические методы очистки сточных вод основываются на жизнедеятельности микроорганизмов, которые питаются органическими веществами, разлагая их на воду и углекислый газ. Конструкции по очистке данным способом делятся на 2 направления. К первому направлению сооружений относят, сооружения в которых процесс протекает в естественной среде. Ко второму – в искусственных условиях (в биофильтрах и аэротенках). Второе направление является более применяемым в наши дни, так как процессы протекают в ускоренном режиме.

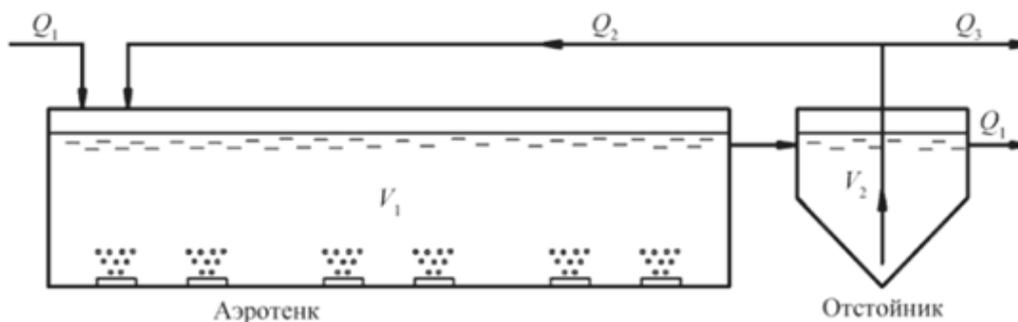


1-сточная вода; 2-решетки; 3-песколовки; 4-первичные отстойники; 5-биофильтры; 6-вторичные отстойники; 7-контактный резервуар; 8-выпуск; 9-отбросы; 10-вдробилки; 11-хлораторная установка; 12-осадок из первичных отстойников; 13-био пленка из вторичных отстойников; 14-песок; 15-бункер песка; 16-иловые площадки.

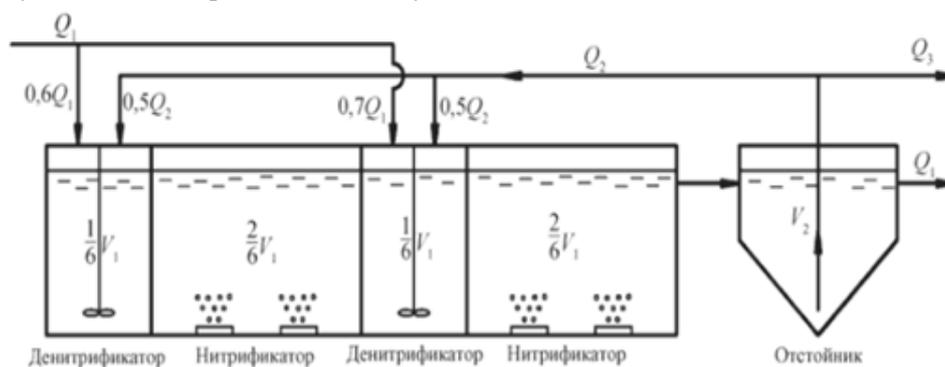
**Рисунок 7. Технологическая схема очистных станций с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах**

Схема, приведенная на рисунке 7 используются для очистки сточных вод объемом от 10000 до 20000 м<sup>3</sup>/сут. При данной методе очистки применяют активный ил, что по сути представляет собой смесь разных микроорганизмов. В наши дни использование активного ила заняло лидирующее место при очистке стоков. На основе проведенных исследований в сфере очистки стоков была произведена модернизация

сооружений искусственной биологической очистки сточных вод за счёт переоборудования действующих аэротенков в режим нитрификации-денитрификации.



**Рисунок 8.** Схема традиционной искусственной биологической очистки сточных вод



**Рисунок 9.** Схема модернизированной искусственной биологической очистки сточных вод

Внедрение подобной технологии (рис.9) значительно повысит эффективность процесса очистки сточных вод от соединений азота, сократит эксплуатационные затраты, уменьшит массу загрязняющих веществ.

**Выводы.** Существующее многообразие и типо-размерные ряды очистных сооружений требует определение закономерностей по характеристикам мощности и специфики очистки в пределах муниципальных образований для создания перспективных планов по реконструкции старых и строительству новых очистных сооружений, позволяющих эффективно решать вопросы рациональной очистки бытовых, производственных и атмосферных сточных вод минимизируя затраты с полным исполнением экологического законодательства.

В виду стремительного роста промышленности, развития населённых пунктов, улучшения демографической обстановки в стране использование водных ресурсов увеличивается, в результате чего неуклонно растет объем сточных вод. Поэтому необходимо уделить особое внимание развитию, обновлению и эффективной эксплуатации очистных сооружений населенных пунктов, производственных предприятий и сельскохозяйственных холдингов, дабы не допустить нарушения экологического законодательства и среды обитания человека.

### Список литературы

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. 2004.
2. Яковлев С.В., Ласков Ю.М. Канализация. 1978. № 6.
3. Мешалкин А.В., Дмитриева Т.В., Шемель И.Г.. Экологическое состояние гидросферы. под редакцией д.т.н., проф., академика РАЕН Коржавого А.П. 2007.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Бюро НТД. 2015.

5. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. №1 (17). Журкин Н.Н., Алибеков С.Я. Усовершенствование механической очистки сточных вод.
6. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность). 2010.
7. [Башкирский химический журнал](#). 2007. №4. Т.14. Назаров В.Д., Гараев И.Ф., Назаров М.В. Физико-химические методы очистки и обеззараживания сточных вод туберкулёзных и инфекционных больниц.
8. [Вестник Кузбасского государственного технического университета](#). 2010. №2. Зайцева И.С., Зайцева Н.А., Воронина А.С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках.
9. Вестник МГСУ. 2012. №11. Гогина Е.С., Кулаков А.А. Разработка технологии модернизации сооружений искусственной биологической очистки сточных вод.

## **СЕКЦИЯ №11.**

### **ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00)**

## **СЕКЦИЯ №12.**

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00)**

## **СЕКЦИЯ №13.**

### **ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00)**

## **СЕКЦИЯ №14.**

### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00)**

#### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ ГРАНИЦ ОБЛАСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

**Шалумов М.А., Шалумов А.С.**

Владимирский филиал РАНХиГС, РФ, г. Владимир

Основное содержание проводимых разработчиками радиотехнических устройств (РТУ), службами надёжности и заказчика работ по проверке правильности применения, анализу причин и поиску предпосылок отказов электрорадиоизделий (ЭРИ) в РТУ заключается в отыскании наиболее «тяжелых» (экстремальных) электрических режимов работы ЭРИ с учетом всех неблагоприятных факторов, способствующих возникновению таких режимов.

Расчёт экстремальных рабочих режимов (РР) полупроводниковых приборов (ПП) является сложной задачей анализа. Ее решение на ЭВМ требует учета понятия критерия экстремального режима и способа его количественной оценки (целевой функции) [1 - 4].

Пусть состояние ПП в схеме микроэлектронной аппаратуры (МЭА) характеризуется вектором электрических параметров режима  $U_{P1}, U_{P2}, \dots, U_{Pj}, \dots, U_{Pn}$ , являющихся координатами рабочей точки ПП в  $n$ -мерном пространстве параметров режима  $PY_r$ . Пространство  $PY_r$  является также скалярным полем априорно заданных, в общем случае нелинейных ограничений  $\Psi_i(U_{P1}, U_{P2}, \dots, U_{Pj}, \dots, U_{Pn}), i = 1..m; m \leq n$ ,

устанавливающие технические требования к электрическим параметрам режима (ЭПР) и определяющих границу

$$\Psi_i (Y_{P1}, Y_{P2}, \dots, Y_{Pj}, \dots, Y_{Pn}) = 0 \quad (1)$$

Допустимой области максимальных режимов ПП  $Y_p D = \{Y_p | \Psi_i (Y_p) \leq 0\}$ .

Выражение (1) для границ области максимального режима (ОМР) обобщает заданные в нормативно-технической документации (НТД) на ПП в виде функциональных зависимостей и графиков области максимальных режимов, типовые структуры расчета предельно допустимых значений (ПДЗ) ЭПР и др. требования к ПДЗ ЭПР.

Расчет вектора  $Y_p$  с помощью программ машинного анализа (ПМА) электронных схем подразумевает замену физической модели схемы (макета) математической моделью (ММ) схемы, как объединение ММ ПП и др. ЭРИ. Пусть ММ схемы в ПМА представлена системой дифференциальных уравнений вида

$$\dot{V} = \varphi(V, W, t), \quad (2)$$

где  $V$  – вектор переменных состояния (независимых друг от друга емкостных напряжений и индуктивных токов);

$t$  – время;

$W$  – вектор входных параметров, объединяющий множества внутренних  $X$  и внешних  $Q$  параметров схемы.

Отметим, что в данном случае внутренними параметрами являются параметры ЭРИ, не относящиеся в ЭПР ПП, а внешние параметры – параметры стимулирующих сигналов, температура и др. Внутренние и внешние параметры имеют определенный разброс, который должен быть уточнен при отыскании экстремальных РР ПП.

Решение системы уравнений (2) на ЭВМ позволяет определить для заданных значений входных параметров  $W_{3AD}$  временные зависимости переменных состояния

$$W = \Phi_1(t)|_{W=W_{3AD}} \quad (3)$$

По найденным зависимостям (3) могут быть определены как временные зависимости ЭПР ПП

$$Y_p = \Phi_2(V) = \Phi_2(\Phi_1(t)|_{W=W_{3AD}}), \quad (4)$$

так и временные зависимости выходных параметров схемы  $Y_{CX} = \Phi_3(V) = \Phi_3(\Phi_1(t)|_{W=W_{3AD}})$ .

Назовем задачу расчета вектора  $Y_p$  задачей  $p$ -анализа электрических схем. Многовариантный  $p$ -анализ включает в себя одновариантный анализ и межвариантные модификации  $W$ . В результате многовариантного  $p$ -анализа получаются множества значений векторов  $Y_p$  и  $Y_{CX}$ , образующие соответствующие рабочие области  $Y_p R$  и  $Y_{CX} R$ .

Сказанное иллюстрируется на рис. 1.

В пространствах  $PW$ ,  $PV$ ,  $PY_p$ ,  $PY_{CX}$  построены соответствующие рабочие области изменения параметров и переменных  $WP$ ,  $VP$ ,  $Y_p R$  и  $Y_{CX} R$ , связанные операторами переходов  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ . Технические требования к ПДЗ ЭПР в виде границы  $\Psi(Y_p)|_{W=W_{3AD}} = 0$  выделяют область допустимых значений ЭПР ПП. Очевидно, что условием обеспечения надежности ПП является условие  $Y_p R$  является подмножеством множества  $Y_p D$ .

Определение области  $Y_p R$  в результате многовариантного  $p$ -анализа и задание допустимой области  $Y_p D$  позволяет сравнивать РР ПП в разных рабочих точках  $Y_p \in Y_p R$  и отмечать экстремальные рабочие точки, в которых РР ПП наиболее «тяжёлый». Заметим, что в случае анализа переходных процессов  $Y_p R$  представляет собой траекторию движения рабочей точки ПП в пространстве  $PY_p$ .

Таким образом, процедуры расчёта и контроля ЭПР ПП могут быть сформулированы как задачи построения и количественной оценки взаимного расположения геометрических объектов  $Y_p R$  и  $Y_p D$  в пространстве  $PY_p$  и отыскания рабочей точки (или рабочих точек), находящейся внутри области  $Y_p D$  на

минимальном расстоянии от её границ. Иными словами, экстремальной является рабочая точка, расположенная относительно  $Y_{pD}$  с минимальными запасами

$$Z_j = TT_j - y_{pj}, \quad (5)$$

где  $Z_j$  – запас работоспособности ПП по j-му ЭПР;

$TT_j$  – техническое требование (ПДЗ ЭПР) на параметр режима  $y_{pj}$ .

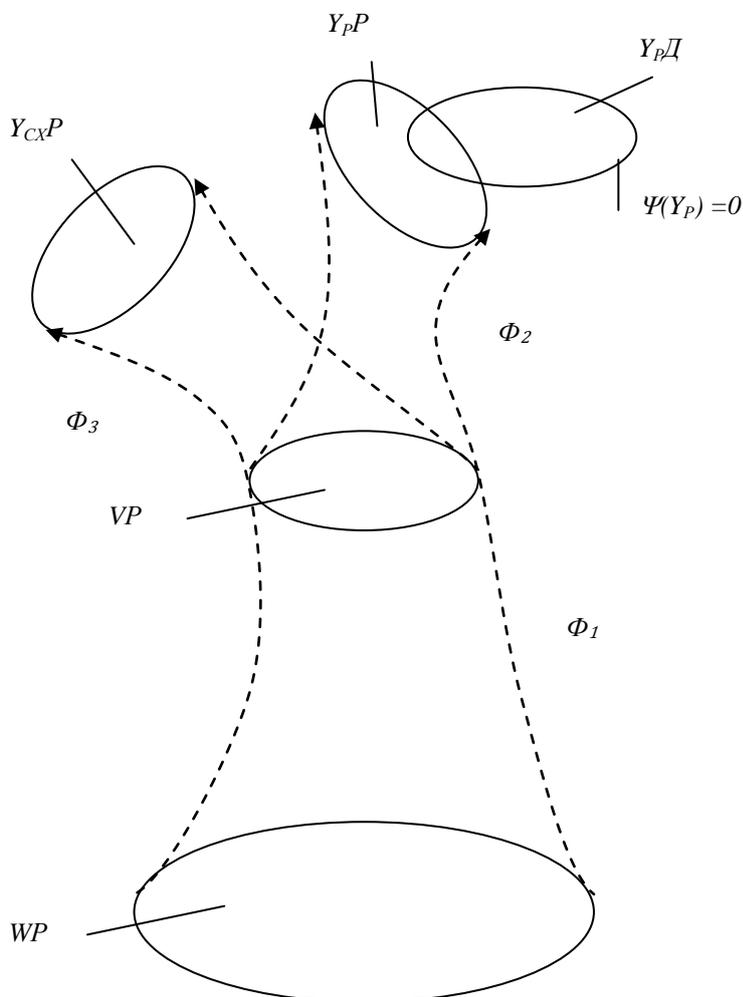


Рис. 1. Задача анализа электрических режимов работы ПП при моделировании электронных схем на ЭВМ

Принимая оценку (5) в качестве критерия экстремальности РР ПП, полагаем, что способ определения  $TT_j$  по заданной границе (1) известен из НТД на ПП.

Для формирования обобщенного критерия введем нормированный запас по j-му ЭПР

$$Z'_j = \frac{TT_j - y_{pj}}{TT_j}. \quad (6)$$

Тогда минимальный нормированный запас по j-му ЭПР, являющийся локальным экстремумом целевой функции (6), определяется в виде

$$Z'_{j \text{ мин}} = \min(Z'_j) \quad \forall t \in [t_1, t_2], \quad W \in WP \quad (7)$$

где  $[t_1, t_2]$  – отрезок времени переходного процесса.

При выходе рабочей точки за пределы области  $Y_{pD}$  смысл минимального запаса (7) сохраняется, т.к. величина запаса меняет знак (становится отрицательной).

Окончательное решение задачи расчета электрических РР ПП сводится при этом к отысканию экстремума

$$\min_j (Z'_{j\min}) \quad (8)$$

и соответствующих ему координат рабочей точки ПП.

В случае использования в качестве критерия оценки экстремального режима величины коэффициента нагрузки ПП  $K_{Hj} = \frac{y_{pj}}{TT_j}$ , задача формулируется в виде

$$\begin{aligned} \max \max (K_{Hj}) \\ \forall t \in [t_1, t_2] , \\ W \in WP \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, задача расчёта электрических режимов работы ПП в схемах МЭА относится к классу экстремальных задач схемотехнического проектирования РТУ и может быть решена в ходе моделирования электронных схем на ЭВМ.

При критерии минимального запаса (7) вычисление вектора электрических параметров режима означает и вычисление значения целевой функции в очередной отображающей точке на траектории поиска экстремального режима, если для каждого  $Y_{pj}$  определено значение входящего в критерий ограничения на предельно допустимые значения (ПДЗ) этого параметра  $TT_j$ . Некоторые из  $TT_j$  заданы в НТД на ПП своими числовыми значениями, например  $TT_j = U_{ЭБ\text{МАКС}} = 4\text{В}$ , которые постоянны при всех вариациях параметров, во всем диапазоне рабочих температур, т.е. в любой отображающей точке  $W$  пространства входных параметров. В этом простом случае  $TT_j$  можно рассматривать как постоянный коэффициент в выражении для целевой функции.

Сложнее вычислить запас ( $K_H$ ) по параметрам режима, ПДЗ которых заданы в виде функциональных зависимостей. В работе [1] предложено определять локальный экстремум режимного параметра  $y_{pj}^*$  при переходном процессе в виде

$$y_{pj}^* = \max_{\forall t \in [T_1, T_2]} \{y_j(t)\} \quad (10)$$

где  $[T_1, T_2]$  – отрезок времени переходного процесса.

$t$  – время.

При таком подходе режим работы ПП может быть оценен неправильно. В самом деле, если принять, например, в качестве предельно допустимого коллекторного тока транзистора  $TT_{I_K} = I_{K\text{МАКСДОП}} = \text{const}$  для постоянного тока и  $TT_{I_K} = I_{K\text{ИМАКСДОП}} = \text{const}$  для импульсного тока на том основании, что значения  $I_{K\text{МАКС}}$  и  $I_{K\text{ИМАКС}}$  нормируются для всего диапазона рабочих температур, то расчетная величина коэффициента нагрузки по току может оказаться меньше фактической величины, а запас больше. Сказанное иллюстрируется на рис. 2 и 3. Если осциллограмма коллекторного тока имеет вид, изображенный на рис. 2, а ОМР транзистора и траектория движения его рабочей точки имеют вид, изображенный на рис. 3, то коэффициент нагрузки транзистора по току в момент времени  $t_2$  будет больше, чем в момент времени  $t_1$ , хотя максимум тока приходится на момент времени  $t_1$ .

Очевидно, что использование для оценки экстремальных режимов критерия минимального запаса (7), в котором ПДЗ ЭПР (ТТ) определяются установленными для ОМР ПП границами (1), дает более точную оценку электрических нагрузок ПП. Экстремальное значение параметра режима  $Y_j$  определяется при этом выражением

$$y_{pj}^* = [y_{pj}(t) | z'_j = z_{j\min}] \quad (11)$$

где  $z'_j$  и  $z_{j\min}$  – относительные запасы, определяемые по формулам (6) и (7) соответственно.

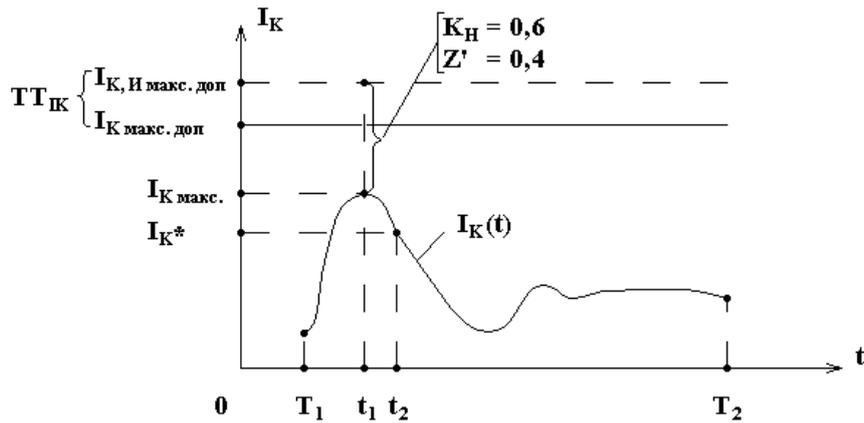


Рис. 2. Оценка экстремального режима по критерию максимального значения ЭПР

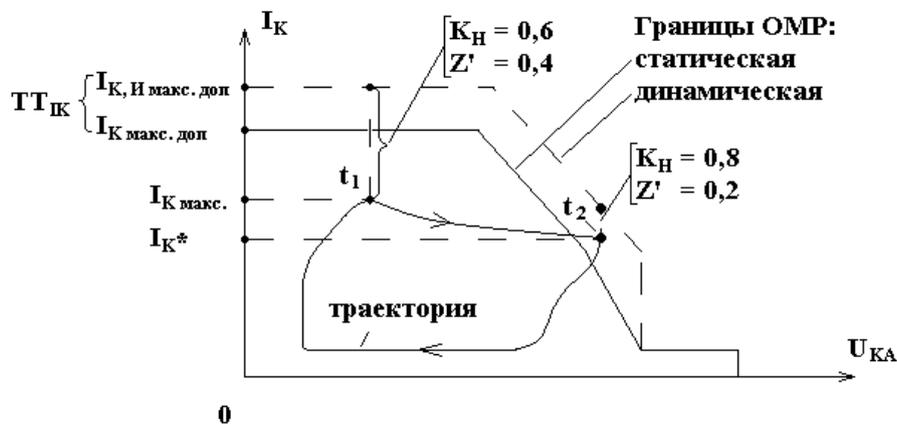


Рис. 3. Оценка экстремального режима по критерию минимального запаса с учётом функциональной зависимости  $TT_{IK}(U_{KЭ})$

При отыскании экстремума (11) необходимо учесть следующую особенность. Как следует из рассмотрения рис. 2 и 3, оценка положения рабочей точки относительно границ ОМР в динамике требует определения значений  $TT_j$  для каждого момента времени переходного процесса, т.е. на каждом шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений ММ схемы при решении задачи анализа переходных процессов с помощью ЭВМ. В связи с этим необходимо решить вопрос о способе организации вычислений  $TT_j$  и определения значений  $y_{pj}^*$  с учетом возможностей ПМА и САПР. Построение графиков траектории движения рабочей точки, называемых также «динамическими характеристиками», довольно трудоёмкая операция. Для ее автоматизации требуется разработка специальных программ обработки результатов анализа переходных процессов, сведения о которых в литературе практически отсутствуют. Построение таких графиков вручную и определение по ним экстремальных точек не обеспечивает необходимую точность.

Рассмотрим специальный метод оценки экстремальных электрических РР ПП при переходных процессах, свободный от указанных недостатков и названный «методом динамической проекции границ» (ДПГ). Суть метода заключается в том, что в отличие от метода построения «динамической характеристики», предполагающего построение (проектирование) траектории движения рабочей точки на плоскость  $\{Y_{pj}, Y_{pi}\}$ , в которой заданы границы ОМР (например, плоскость статических ВАХ транзистора на рис. 3), в методе ДПГ осуществляется обратная операция проекции границ ОМР на плоскости  $\{y_{p1}, t\}$ ,  $\{y_{p2}, t\}$ , ...,  $\{y_{pn}, t\}$ .

Это означает, что на поле каждого графика переходного процесса  $y_{pj}(t)$ , характеризующего изменение ЭПР ПП во времени, выводится график  $TT_j = \xi_j(t)$ , отражающий изменение соответствующих

этому параметру его ПДЗ. Одновременно с расчетом временных зависимостей  $y_{pj}(t)$  и  $\xi_j(t)$  вычисляются определяющие целевую функцию запасы

$$z'_j(t) = (\xi_j(t) - y_{pj}(t)) / (\xi_j(t)) \quad (12)$$

Блок-схема укрупненного алгоритма анализа ЭПР ПП по методу ДПГ приведена на рис. 4. После описания на входном языке ПМА электронной схемы применения ПП и задания вектора входных параметров в исходной точке  $W_{исх}$  (параметров источников сигналов, напряжения питания, температуры, значений параметров ММ комплектующих схему ЭРИ) переходят к определению функциональных зависимостей ЭПР ПП от переменных состояния  $Y_p(t) = \Phi_2(V)$  и зависимостей  $TT = \Phi_4(Y_p)$ , связывающих ЭПР ПП и ПДЗ ЭПР. Например, если в ПМА приняты в качестве переменных состояния потенциалы узлов схемы относительно базового узла (условного корпуса) и токи резистивных ветвей, то для биполярного транзистора в систему уравнений  $Y_p = \Phi_2(V)$  войдут уравнения:

$$\begin{aligned} U_{КЭ} &= U_K - U_Э; \\ I_K &= I_{RK}; \\ P_K &= I_{RK} * (U_K - U_Э); \end{aligned}$$

где  $U_K$  – потенциал коллекторного вывода транзистора;

$U_Э$  – потенциал эмиттерного вывода;

$I_{RK}$  – ток через резистор в цепи коллекторного вывода;

$P_K$  – мгновенная мощность.

В систему уравнений  $TT = \Phi_4(Y_p)$  при наличии графика рис. 5, который для  $15В \leq U_{КЭ} \leq 45В$  и заданной температуры  $T=100^\circС$  описывается линейной функцией  $P_{K\text{МАКС}} = a - b * U_{КЭ}$ , войдут, как нетрудно показать, уравнения

$$\begin{aligned} U_{КЭ\text{МАКС}} &= (a - b * U_{КЭ}) / I_K, \\ I_{K\text{МАКС}} &= (a - b * U_{КЭ}) / U_{КЭ}, \\ P_{K\text{МАКС}} &= (a - b * U_{КЭ}), \end{aligned}$$

где  $a=13,75$  Вт,  $b=0,25$  А.

Отметим, что в этом примере рассматривается функция ограничений  $\Psi_i(y_{p1}, y_{p2}) = y_{p1} * y_{p2} + 0,25 * y_{p1} - 13,75$ , устанавливающая согласно (1) границу  $y_{p1} * y_{p2} + 0,25 * y_{p1} - 13,75 = 0$ , где  $y_{p1} = U_{КЭ}$ ,  $y_{p2} = I_K$ .

Далее систему уравнений  $Y_p = \Phi_2(V)$ ,  $TT = \Phi_4(Y_p)$ , а также выражения для запасов  $z' = \Phi_5(Y_p, TT)$  по (6) формулируют тем или иным способом на входном языке ПМА и вводят в ЭВМ вместе с исходными данными о моделируемой схеме применения ПП, после чего программными средствами ПМА осуществляется автоматическое формирование сопряжённой системы уравнений ММ схемы (блок 5) с использованием данных о ММ ПП и других ЭРИ, хранящихся в ПМА в библиотеке ММ.

Решение сопряжённой системы уравнений (блок 6) позволяет определить временные зависимости переменных состояния  $V(t)$ , параметров режима  $y_{pj}(t)$ , предельно допустимых значений параметров режима  $TT_j(t)$ , а также оценивающих целевую функцию относительных запасов  $z'_j(t)$ . Экстремальные значения электрических параметров режима ПП  $y_{pj}^*$  могут быть легко определены из рассмотрения полученных таким образом данных по минимальным значениям запасов

$$\begin{aligned} Z'_{j\text{МИН}} &= \min(Z'_j) \\ \forall t \in [T_1, T_2] \end{aligned} \quad (13)$$

Порядок определения минимального запаса по верхней границе ПДЗ ЭПР и соответствующий машинный алгоритм показан на рис. 6, где  $F(W)^{**}$  обозначен экстремум целевой функции, определяемый с учетом разбросов параметров ЭРИ и сигналов любым из известных методов анализа допусков.

Нетрудно заметить, что в основе предложенного метода оценки экстремальных электрических режимов ПП лежит формирование сопряжённой системы уравнений ММ схемы применения ПП, которое происходит путём дополнения ММ схемы системой уравнений

$$\begin{cases} Y_p = \Phi_2(V) \\ TT = \Phi_4(Y_p, W) \\ z = \Phi_5(Y_p, TT) \end{cases} \quad (14)$$

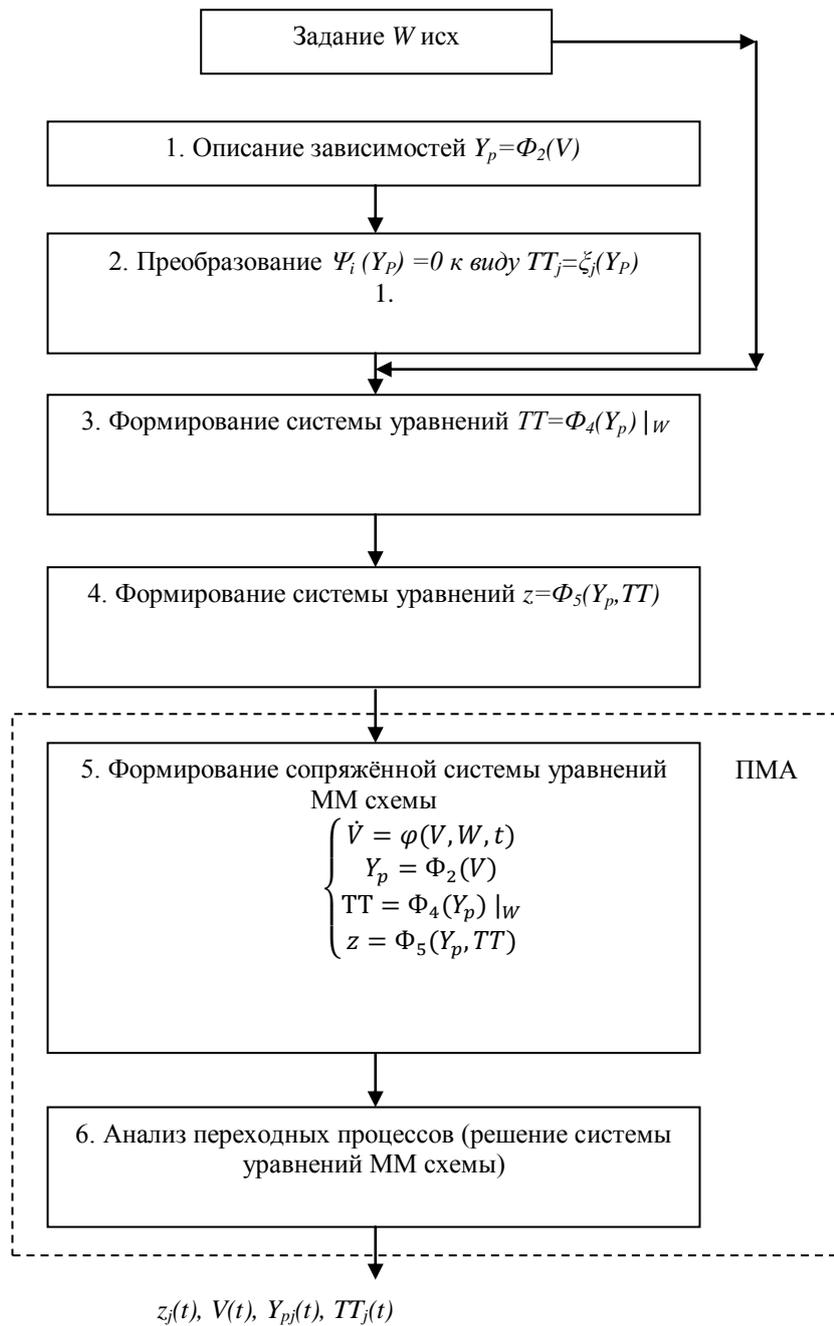


Рис. 4. Блок-схема алгоритма оценки электрических РР ПП по методу ДПГ

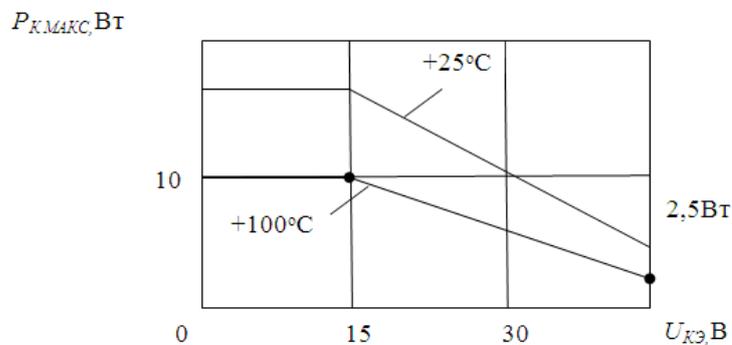


Рис.5. Область безопасной работы в статическом режиме для транзисторов в составе микросхемы 286ЕПЗ

Формулировка системы уравнений (14) на входном языке ПМА, используемом для описания ММ ПП и других компонентов электронных схем, позволяет использовать без какой-либо доработки существующие ПМА для решения задачи оценки экстремальных электрических режимов ПП с помощью ЭВМ. Поскольку при этом каждому ПП, режимы работы которого оцениваются, будет соответствовать своя система уравнений вида (14), целесообразно разработать учитывающие эти уравнения специальные модели ПП для оценки электрических режимов их работы методом ДПГ. Это позволит упростить хранение в памяти ЭВМ и использование при расчете данных о ПДЗ ЭПР ПП благодаря наличию таких данных в самих моделях ПП.

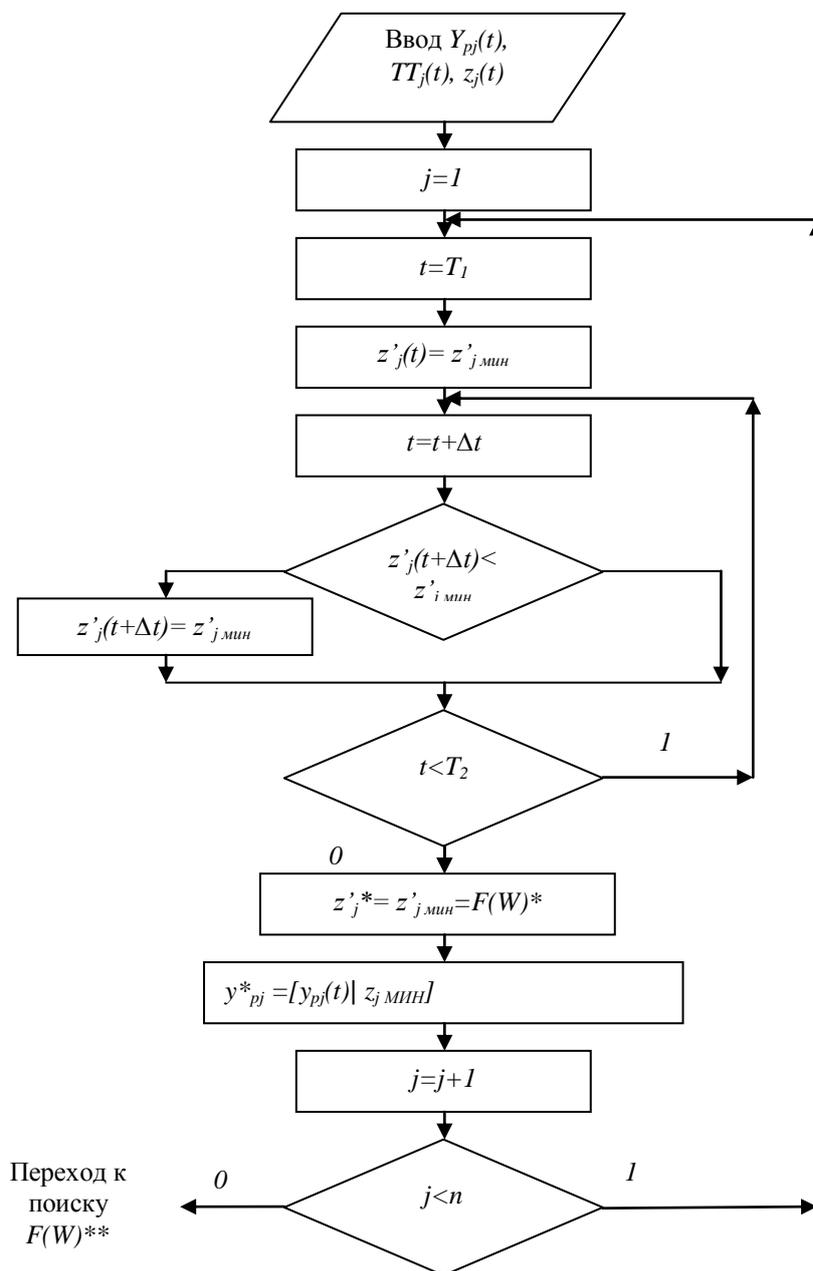


Рис. 6. Блок-схема алгоритма поиска локальных экстремумов  $F(W)**$  по данным однократного расчета ЭПР ПП, выполненного по методу ДПГ

### Список литературы

1. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в

- радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / А.С. Шалумов, Ю.Н. Кофанов, С.У. Увайсов, М.А. Шалумов и др. / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.
2. Китаев Ю.В. Основы цифровой техники. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 87 с.
3. Лаврентьев Б.Ф. Схемотехника электронных средств. Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 308 с.
4. Тумковский С.Р. Идентификация параметров математических моделей элементов РТУ / Дис. докт.техн.наук. М., 2006. 251 с.

## СЕКЦИЯ №15.

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00)

#### МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Квашнин Д.А.

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Аннотация: в статье представлены результаты исследований системы пространственно-векторного управления матричным преобразователем частоты.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, пространственно-векторная модуляция.

Алгоритм управления матричным преобразователем частоты (МПЧ) должен удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать изменения выходного напряжения и входного тока по синусоидальным законам; коэффициент сдвига входного тока относительно входного напряжения МПЧ должен быть равным единице, должна быть возможность его регулирования; элементарная комбинация результирующих векторов напряжения, должна быть минимизирована по числу результирующих векторов. [1][2]

Алгоритм ПВМ подразумевает полный контроль над вектором выходного напряжения  $\bar{U}_0$  и вектором входного тока  $\bar{I}_i$ , с использованием 18 активных векторов первой группы и 3 нулевых векторов второй группы. Рассмотрим подробнее выпрямительную часть МПЧ согласно схеме замещения [6], как отдельный активный выпрямитель (АВ), нагруженный генератором постоянного тока  $i_{dc}$ . Пространственный вектор желаемого входного тока АВ может быть аппроксимирован двумя смежными векторами. Относительные длительности ненулевых векторов  $d_{ai}, d_{\beta i}$  и нулевого вектора  $d_{0i}$  рассчитываются для каждого периода модуляции по выражениям:

$$d_{ai} = m_i \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right); \quad d_{\beta i} = m_i \sin \theta_i; \quad d_{0i} = 1 - d_{ai} - d_{\beta i},$$

где  $\theta_i$  – угол вектора входного тока внутри сектора;  $0 \leq m_i \leq 1$ . – коэффициент модуляции тока.

Для цикла переключений в пределах первого сектора имеем следующее выражение:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_B \\ \bar{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{ai} + d_{\beta i} \\ -d_{ai} \\ -d_{\beta i} \end{bmatrix} \cdot i_{dc} = m_i \cdot \begin{bmatrix} \cos\left(\theta_i - \frac{\pi}{6}\right) \\ -\sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right) \\ -\sin\theta_i \end{bmatrix} \cdot i_{dc}$$

Заменяя  $\theta_i$  его значением:

$$\theta_i = (\psi_i t - \varphi_i), \frac{\pi}{6} \leq \psi_i t - \varphi_i \leq -\frac{\pi}{6},$$

где  $\varphi_i$  – угол между напряжением и током. Матрица преобразования:  $\overline{ABT}_{AB}$  определяется следующим выражением:

$$\begin{bmatrix} \overline{I_A} \\ \overline{I_B} \\ \overline{I_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_i t - \varphi_i) \\ \cos\left(\omega_i t - \varphi_i - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\omega_i t - \varphi_i + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot I_{dc} = \overline{T}_{AB} \cdot I_{dc}$$

Выходное напряжение АВ определяется следующим выражением

$$\overline{U}_{pn} = \frac{3}{2} m_i \cdot u_i \cdot \cos\varphi_i = const.$$

Будем считать инверторную часть МПЧ в схеме замещения [6], отдельным АИН, питающимся от источника постоянного напряжения  $U_{pn} = U_{dc}$ . Пространственный вектор желаемых выходных линейных напряжений

$$\overline{U}_0 = \sqrt{3} \cdot U_{0x} e^{(\psi_0 t - \varphi_0 + 30^\circ)}, U_{0x}; x \in \{a, b, c\}$$

может быть аппроксимирован двумя смежными векторами состояний  $U_d$  и  $U_q$  и вектором нулевых напряжений  $U_0$  с помощью ШИМ, где  $\overline{U}_{oref}$  – выборка значения напряжения  $\overline{U}_0$  в некоторый момент в пределах цикла переключений  $T_s$ . Относительные длительности векторов  $d_{au}$ ,  $d_{\beta u}$  и нулевого вектора  $d_{0u}$  рассчитываются для каждого периода модуляции по выражениям:

$$d_{au} = m_u \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_u\right); d_{\beta u} = m_u \cdot \sin\theta_u; d_{0u} = 1 - d_{au} - d_{\beta u},$$

где  $\theta_u$  – угол вектора выходного напряжения внутри сектора;  $m_u$  – коэффициент модуляции напряжения. Коэффициент модуляции для данного алгоритма управления задается как  $m = m_i \cdot m_u$ .

Усредненные выходные напряжения для первого секстанта:

$$U_0 = \begin{bmatrix} \overline{U}_a \\ \overline{U}_b \\ \overline{U}_c \end{bmatrix} = m_u \cdot \begin{bmatrix} \cos(\psi_0 t - \varphi_0 + 30^\circ) \\ \cos(\psi_0 t - \varphi_0 + 30^\circ - 120^\circ) \\ \cos(\psi_0 t - \varphi_0 + 30^\circ + 120^\circ) \end{bmatrix} \cdot U_{dc} = \overline{T}_{AИH} \cdot U_{dc}.$$

Усредненный входной ток АИН определяется как

$$\overline{I}_p = \overline{T}_{AИH}^T \cdot I_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{0m} \cdot m_u \cdot \cos\varphi_0 = const.$$

Так как шестиугольники, как для АВ, так и для АИН содержат по шесть секстантов, то существует 36 комбинаций. Однако, только 27 из них являются разрешенными. Если первое выходное напряжение и первый входной ток активны, то матрица преобразования приобретает вид

$$\bar{T}_{ph} = m \cdot \begin{bmatrix} \cos\left(\theta_u - \frac{\pi}{6}\right) \\ -\sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_u\right) \\ -\sin(\theta_u) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\left(\theta_i - \frac{\pi}{6}\right) \\ -\sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right) \\ -\sin(\theta_i) \end{bmatrix}^T.$$

Выходные линейные напряжения имеют вид:

$$U_0 = \begin{bmatrix} \vec{U}_a \\ \vec{U}_b \\ \vec{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{au} + d_{\beta u} \\ -d_{au} \\ -d_{\beta u} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{ai} + d_{\beta i} \\ -d_{ai} \\ -d_{\beta i} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix};$$

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} \quad \text{и} \quad U_{AC} = U_{AO} - U_{CO}.$$

Что окончательно дает следующее выражение

$$U_0 = \begin{bmatrix} \vec{U}_a \\ \vec{U}_b \\ \vec{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{au} + d_{\beta u} \\ -d_{au} \\ -d_{\beta u} \end{bmatrix} \cdot U_{AB} + \begin{bmatrix} d_{\alpha\beta ui} + d_{\beta ui} \\ -d_{\alpha\beta ui} \\ -d_{\beta ui} \end{bmatrix} \cdot U_{AC}, \quad \text{где}$$

$$d_{\alpha ui} = d_{au} d_{ai} = m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_u\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right) = \frac{T_{\alpha ui}}{T_S};$$

$$d_{\beta \alpha ui} = d_{\beta u} d_{ai} = m \cdot \sin(\theta_u) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right) = \frac{T_{\beta \alpha ui}}{T_S};$$

$$d_{\alpha\beta ui} = d_{au} d_{\beta i} = m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_u\right) \cdot \sin(\theta_i) = \frac{T_{\alpha\beta ui}}{T_S};$$

$$d_{\beta ui} = d_{\beta u} d_{\beta i} = m \cdot \sin(\theta_u) \cdot \sin(\theta_i) = \frac{T_{\beta ui}}{T_S}.$$

Видно, что выходные линейные напряжения синтезируются внутри каждого коммутационного цикла из выборок двух входных линейных напряжений  $U_{AB}$  и  $U_{AC}$ . Сравнивая данные выражения можно сделать вывод, что одновременно и выходное напряжение и входной ток ПВМ можно получить, последовательно применяя стандарт ПВМ в двух субтопологиях трехфазного МПЧ. Когда ПВМ применяется в первой субтопологии АИН, в которой  $U_{pn} = U_{AB}$ , рабочими циклами двух смежных векторов напряжений коммутационных состояний являются  $d_{\alpha ui}$  и  $d_{\beta \alpha ui}$ . ПВМ АИН во второй субтопологии, где  $U_{pn} = U_{AC}$ , в результате дает рабочие циклы векторов коммутационных состояний  $d_{\alpha\beta ui}$  и  $d_{\beta ui}$ , определенных выше.

$$d_0 = 1 - d_{\alpha ui} - d_{\beta \alpha ui} - d_{\alpha\beta ui} - d_{\beta ui}.$$

Данное выражение показывает, как задается оставшаяся часть цикла переключений.

## Список литературы

1. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока : учеб. пособие для вузов / А.Б. Виноградов – Иваново: ИГЭУ, 2008. – 298 с.
2. Бобров М.А. Разработка наблюдателя основного магнитного потока для реализации бездатчиковых принципов управления электроприводом на базе асинхронизированного вентильного двигателя / М.А. Бобров, Г.М. Тутаев – В сборнике: Актуальные вопросы науки и техники. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. – 45 с.
3. Тутаев Г.М. Оценка энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя при различных способах аппроксимации кривой намагничивания / Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, И.В. Гуляев / Электротехника. 2017. №6 – 2-6 с.
4. Тутаев Г.М. Исследование энергоэффективных режимов работы электропривода на базе асинхронизированного вентильного двигателя / Г.М. Тутаев, И.С. Юшков, М.А. Бобров – В сборнике: Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. С. 68-72.
5. Tutaev G.M. Energy-efficient control options of electric drive based on asynchronous converter-fed motor / G.M. Tutaev, A.V. Volkov, M.A. Bobrov – В сборнике: труды XIII международной научно-технической конференции актуальные проблемы электронного приборостроения Proceedings: in 12 volumes, 2016. С. 88-93.
6. Кокорин Н.В. Исследование и разработка преобразователя частоты матричного типа для электроприводов переменного тока: дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Кокорин; Чувашский гос. Университет – Чебоксары, 2010. – 157 с.

## МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Квашнин Д.А.

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

*Аннотация: в статье представлены результаты исследований разных способов управления матричным преобразователем частоты: скалярной и пространственно-векторной модуляции.*

*Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, скалярная модуляция, пространственно-векторная модуляция.*

Для управления матричными преобразователями частоты (МПЧ) применяется несколько алгоритмов. Многие алгоритмы скалярной модуляции [1][2] позволяют в режиме реального времени регулировать коэффициент передачи напряжения  $q$  в диапазоне от 0 до 0,5. Оптимизированный алгоритм Вентарини [2] позволяет регулировать коэффициент передачи напряжения  $q$  в диапазоне от 0 до  $\sqrt{3}/2$  за счёт использования в выходном фазном напряжении гармонической составляющей третьего порядка. Методы пространственно-векторной модуляции (ПВМ) также позволяют обеспечить максимальный коэффициент передачи напряжения  $q$  равный  $\sqrt{3}/2$ .

В теории ПВМ ключевую роль играет понятие пространственного вектора, представляющего собой трехфазную систему векторов на комплексной плоскости. Для управления МПЧ с помощью хорошо известных алгоритмов ПВМ выпрямительной и инверторной частей двухзвенных преобразователей частоты [5], МПЧ был представлен в эквивалентной схеме, сочетающей выпрямитель и инвертор, связанные с помощью виртуального звена постоянного тока [3].

Поскольку ПВМ рассматривает все три модулирующих сигнала или напряжения как одно целое, векторная сумма трех модулирующих сигналов или напряжений известна как опорное напряжение  $U_{\text{oref}}$ , которое связано с величиной выходного напряжения переключающих топологий.

Для симметричной трехфазной системы синусоид мгновенные значения выходных напряжений могут быть представлены в виде:

$$\begin{bmatrix} u_a(t) \\ u_b(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega_0 t \\ \cos(\omega_0 t - 120^\circ) \\ \cos(\omega_0 t - 240^\circ) \end{bmatrix}.$$

Представим (2.18) в форме комплексного пространственного вектора:

$$\bar{U}_0 = \frac{2}{3} \left[ u_a(t) + u_b(t) e^{\frac{j2\pi}{3}} + u_c(t) e^{\frac{j4\pi}{3}} \right] = u_0 e^{j\psi_0 t},$$

где  $e^{j\psi_0 t} = \cos \psi_0 t + j \sin \psi_0 t$  – оператор фазового сдвига трехфазной системы;  $u_0$  и  $\psi_0$  – амплитуда и угол пространственного вектора выходного напряжения.

Подобно этому, пространственно-векторное представление трехфазного входного напряжения имеет вид:

$$\bar{U}_i = \frac{2}{3} \left[ u_A(t) + u_B(t) e^{\frac{j2\pi}{3}} + u_C(t) e^{\frac{j4\pi}{3}} \right] = u_i e^{j\psi_i t},$$

где  $u_i$  и  $\psi_i$  – амплитуда и угол пространственного вектора входного напряжения.

Если к выходу преобразователя подключена симметричная трехфазная нагрузка, то пространственно-векторное представление выходных и входных токов будут иметь вид:

$$\bar{I}_0 = \frac{2}{3} \left[ i_a(t) + i_b(t) e^{\frac{j2\pi}{3}} + i_c(t) e^{\frac{j4\pi}{3}} \right] = i_0 e^{j\psi_0 t - \theta_0},$$

$$\bar{I}_i = \frac{2}{3} \left[ i_A(t) + i_B(t) e^{\frac{j2\pi}{3}} + i_C(t) e^{\frac{j4\pi}{3}} \right] = i_i e^{j\psi_i t - \theta_i},$$

где  $\theta_0$  – угол вектора выходного тока внутри сектора, а  $\theta_i$  – угол вектора входного тока внутри сектора. Так как МПЧ непосредственно подключает нагрузку к источнику напряжения с помощью девяти двунаправленных ключей, то входные фазы никогда не должны быть закороченными, а из-за индуктивного характера нагрузки выходные фазы никогда не должны оставаться разомкнутыми[3].

Если переключающую функцию ключа  $S_{xy}$  определить как

$$S_{xy} = \begin{cases} 1, S_{xy} \text{ замкнут} \\ 0, S_{xy} \text{ разомкнут} \end{cases} \quad x \in \{a, b, c\}, y \in \{A, B, C\},$$

то упомянутые ограничения могут быть выражены как

$$S_{xA} + S_{xB} + S_{xC} = 1.$$

При подключении к МПЧ трехфазных электродвигателей переменного тока для корректной работы преобразователя необходимо выполнять следующее: из девяти ключей МПЧ одновременно замкнутыми всегда должны быть три ключа, относящиеся к разным фазам нагрузки. Это дает 27 разрешенных комбинаций открытых ключей. [14] Для каждой комбинации линейные напряжения входа и выхода могут быть выражены в виде пространственных векторов. Комбинации представлены в таблице 1.

Группа I содержит 18 комбинаций активных векторов выходного напряжения  $\bar{U}_0$  и активных векторов входного  $\bar{I}_i$ , имеющих фиксированное направление. Они имеют место, когда все три выходные фазы соединены каким-либо образом только с двумя входными фазами.

Группа II содержит 3 комбинации нулевых векторов выходного напряжения и входного тока. В этом случае все три фазы связаны только с одной из выходных фаз.

Группа III содержит 6 комбинаций, в которых каждая выходная фаза подключена к одной из выходных. В этом случае величина и фаза каждого из векторов являются переменными. Эта группа векторов не используется.

Таблица 1 – Состояния ключей МПЧ

Г	№	В	К	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$i_A$	$i_B$	$i_C$	$\bar{U}_0$	$\Psi_0$	$\bar{I}_i$	$\Psi_i$
I	1	+1	<i>S</i> Aa,Bb,Bc	<i>U</i> AB	0	– <i>U</i> AB	<i>i</i> a	– <i>i</i> a	0	(2/3) <i>U</i> AB	0	2/√3 <i>i</i> a	–π/6
	2	–1	<i>S</i> Ba,Ab,Ac	– <i>U</i> AB	0	<i>U</i> AB	– <i>i</i> a	<i>i</i> a	0	– (2/3) <i>U</i> AB	0	– 2/√3 <i>i</i> a	–π/6
	3	+2	<i>S</i> Ba,Cb,Cc	<i>U</i> BC	0	– <i>U</i> BC	0	<i>i</i> a	– <i>i</i> a	(2/3) <i>U</i> BC	0	2/√3 <i>i</i> a	π/2
	4	–2	<i>S</i> Ca,Bb,Bc	– <i>U</i> BC	0	<i>U</i> BC	0	– <i>i</i> a	<i>i</i> a	– (2/3) <i>U</i> BC	0	– 2/√3 <i>i</i> a	π/2
I	5	+3	<i>S</i> Ca,Ab,Ac	<i>U</i> CA	0	– <i>U</i> CA	– <i>i</i> a	0	<i>i</i> a	(2/3) <i>U</i> CA	0	2/√3 <i>i</i> a	7π/6
	6	–3	<i>S</i> Aa,Cb,Cc	– <i>U</i> CA	0	<i>U</i> CA	<i>i</i> a	0	– <i>i</i> a	– (2/3) <i>U</i> CA	0	– 2/√3 <i>i</i> a	7π/6
	7	+4	<i>S</i> Ba,Ab,Bc	– <i>U</i> AB	<i>U</i> AB	0	<i>i</i> b	– <i>i</i> b	0	(2/3) <i>U</i> AB	2π/3	2/√3 <i>i</i> b	–π/6
	8	–4	<i>S</i> Aa,Bb,Ac	<i>U</i> AB	– <i>U</i> AB	0	– <i>i</i> b	<i>i</i> b	0	(– 2/3) <i>U</i> AB	2π/3	– 2/√3 <i>i</i> b	–π/6
	9	+5	<i>S</i> Ca,Bb,Cc	– <i>U</i> BC	<i>U</i> BC	0	0	<i>i</i> b	– <i>i</i> b	(2/3) <i>U</i> BC	2π/3	2/√3 <i>i</i> b	π/2
	10	–5	<i>S</i> Ba,Cb,Bc	<i>U</i> BC	– <i>U</i> BC	0	0	– <i>i</i> b	<i>i</i> b	(– 2/3) <i>U</i> BC	2π/3	– 2/√3 <i>i</i> b	π/2
	11	+6	<i>S</i> Aa,Cb,Ac	– <i>U</i> CA	<i>U</i> CA	0	– <i>i</i> b	0	<i>i</i> b	(2/3) <i>U</i> CA	2π/3	2/√3 <i>i</i> b	7π/6
	12	–6	<i>S</i> Ca,Ab,Cc	<i>U</i> CA	– <i>U</i> CA	0	<i>i</i> b	0	– <i>i</i> b	– (2/3) <i>U</i> CA	2π/3	– 2/√3 <i>i</i> b	7π/6
	13	+7	<i>S</i> Ba,Bb,Ac	0	– <i>U</i> AB	<i>U</i> AB	<i>i</i> c	– <i>i</i> c	0	(2/3) <i>U</i> AB	4π/3	2/√3 <i>i</i> c	–π/6
	14	–7	<i>S</i> Aa,Ab,Bc	0	<i>U</i> AB	– <i>U</i> AB	– <i>i</i> c	<i>i</i> c	0	– (2/3) <i>U</i> AB	4π/3	– 2/√3 <i>i</i> c	–π/6
	15	+8	<i>S</i> Ca,Cb,Bc	0	– <i>U</i> BC	<i>U</i> BC	0	<i>i</i> c	– <i>i</i> c	(2/3) <i>U</i> BC	4π/3	2/√3 <i>i</i> c	π/2
	16	–8	<i>S</i> Ba,Ba,Cc	0	<i>U</i> BC	– <i>U</i> BC	0	– <i>i</i> c	<i>i</i> c	– (2/3) <i>U</i> BC	4π/3	– 2/√3 <i>i</i> c	π/2
	17	+9	<i>S</i> Aa,Ab,Cc	0	– <i>U</i> CA	<i>U</i> CA	– <i>i</i> c	0	<i>i</i> c	(2/3) <i>U</i> CA	4π/3	2/√3 <i>i</i> c	7π/6
	18	–9	<i>S</i> Ca,Cb,Ac	0	<i>U</i> CA	– <i>U</i> CA	<i>i</i> c	0	– <i>i</i> c	– (2/3) <i>U</i> CA	4π/3	– 2/√3 <i>i</i> c	7π/6
II	19	0	<i>S</i> Aa,Ab,Ac	0	0	0	0	0	0	0	–	0	–
	20	0	<i>S</i> Ba,Bb,Bc	0	0	0	0	0	0	0	–	0	–
	21	0	<i>S</i> Ca,Cb,Cc	0	0	0	0	0	0	0	–	0	–
III	22	–	<i>S</i> Aa,Bb,Cc	<i>U</i> AB	<i>U</i> BC	<i>U</i> CA	<i>i</i> a	<i>i</i> b	<i>i</i> c	<i>u</i> i	ψ <i>i</i> t	<i>i</i> 0	ψ0 <i>t</i>

23	–	$SAa,Cb,Bc$	– $UCA$	– $UBC$	– $UAB$	$ia$	$ic$	$ib$	$-ui$	$-\psi_{it+}$ $+4\pi/3$	$i0$	$-\psi_{0t}$
24	–	$SBa,Cb,Ac$	– $UAB$	– $UCA$	– $UBC$	$ib$	$ia$	$ic$	$-ui$	$-\psi_{it}$	$i0$	– $\psi_{0t+}$ $+2\pi/3$
25	–	$SBa,Ab,Cc$	$UBC$	$UCA$	$UAB$	$ic$	$ia$	$ib$	$ui$	$\psi_{it+}$ $+4\pi/3$	$i0$	$\psi_{0t+}$ $+2\pi/3$
26	–	$SCa,Ab,Bc$	$UCA$	$UAB$	$UBC$	$ib$	$ic$	$ia$	$ui$	$\psi_{it+}$ $+2\pi/3$	$i0$	$\psi_{0t+}$ $+4\pi/3$
27	–	$SCa,Bb,Ac$	– $UBC$	– $UAB$	– $UCA$	$ic$	$ib$	$ia$	$-ui$	$-\psi_{it+}$ $+2\pi/3$	$i0$	– $\psi_{0t+}$ $+4\pi/3$

### Список литературы

1. Alesina A. Analysis and Design of Optimum Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters /A. Alesina, M. Venturini // IEEE Transactions on Power Electronics. – January 1989. – Vol. 4, no. 1. – P. 101–112.
2. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements / M. Venturini // Proc. POWERCON'80. – 1980. – P. E3/1–E3/15.
3. Кокорин Н.В. Исследование и разработка преобразователя частоты матричного типа для электроприводов переменного тока: дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Кокорин; Чувашский гос. Университет – Чебоксары, 2010. – 157 с.
4. Бобров М.А. Разработка наблюдателя основного магнитного потока для реализации бездатчиковых принципов управления электроприводом на базе асинхронизированного вентильного двигателя/ М.А. Бобров, Г.М. Тутаев– В сборнике: Актуальные вопросы науки и техники. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. – 45 с.
5. Тутаев Г.М. Оценка энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя при различных способах аппроксимации кривой намагничивания/ Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, И.В. Гуляев/Электротехника.2017.№6 — 2-6 с.
6. Тутаев Г.М. Исследование энергоэффективных режимов работы электропривода на базе асинхронизированного вентильного двигателя / Г.М. Тутаев, И.С. Юшков, М.А. Бобров – В сборнике: Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. С. 68-72.
7. Tutaev G.M. Energy-efficient control options of electric drive based on asynchronous converter-fed motor / G.M. Tutaev, A.V. Volkov, M.A. Bobrov– В сборнике: труды XIII международной научно-технической конференции актуальные проблемы электронного приборостроения Proceedings: in 12 volumes, 2016. С. 88-93.

### СЕКЦИЯ №16.

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00)

## НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ГП «КАЛУГАОБЛВОДОКАНАЛ»

**Крылова Л.А., Яковлева О.В.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, РФ, г. Калуга

Для своевременного получения адекватной информации о состоянии и об уровне загрязнения различных объектов окружающей среды необходимо располагать надёжными средствами и методами экологического контроля, которые должны быть достаточно производительны, оперативны, должны включать, если это требуется, регулярные измерения, а также иметь высокий уровень автоматизации и оптимизации технических средств.

Федеральным законом "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ установлено четыре вида экологического контроля: государственный, муниципальный, общественный, производственный.

Все виды экологического контроля важны. Особую актуальность для отслеживания нормальной работы городских очистных сооружений г. Калуга имеет производственный экологический контроль. В организации водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) г. Калуга вышеназванный контроль осуществляется Базовой лабораторией сточных вод ГП «Калугаоблводоканал» в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной деятельности предприятия мероприятий по охране окружающей среды, а также для соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством [1].

Целью работы явилась модернизация организации производственно-экологического контроля в ГП «Калугаоблводоканал» с учетом НДТ.

Основной причиной загрязнения р. Ока, ухудшения качества воды и нарушения нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов, является сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, особенно тех отраслей промышленности, которые являются основными потребителями воды в городе – машиностроение и приборостроение [3].

Калуга является городом с развитым кластером приборо- и машиностроения. Поэтому поступающие сточные воды на очистные сооружения города имеют кроме традиционных загрязнений в виде биогенных элементов, хлоридов, сульфатов также и объемные сбросы ионов тяжелых металлов, ПАВ, фенолов.

Состав и количество примесей сточных вод, поступающих на очистные сооружения города, непостоянен, качество сброса после очистки также подвержено колебаниям, что негативно сказывается на состоянии водотока.

Для оптимизации производственно-экологического контроля на очистных сооружениях г. Калуга необходимо регулярно отслеживать динамику поступающего стока, особенно промышленного характера.

В настоящее время, как показало исследование, в ГП «Калугаоблводоканал» накоплен значительный массив экспериментальных данных по качественному составу поступающих сточных вод и по сбросу после очистных сооружений. Обработка и анализ показателей затруднена, так как не проводится современная обработка данных, с использованием усовершенствованных средств информатики.

В настоящее время актуально говорить не об экологии и информатике отдельно, а о таком предмете исследования, как экоинформатике – процессе сбора, обработки и хранения экологических данных.

Среди наиболее часто используемых методов и средств экоинформатики, большая роль отводится электронным коллекциям и базам данных, которые являются наиболее эффективными средствами систематизации экоданных.

В зависимости от назначения различают научно-поисковую информацию и практическую, для решения народно-хозяйственных задач.

Познакомившись с организацией деятельности, связанной с обработкой экологической информации на предприятии ВКХ (на примере ГП «Калугаоблводоканал»), можно справедливо заметить, что на предприятиях подобного типа осуществляется сбор информации именно для решения народно-хозяйственных задач, то есть для достижения практической цели самого предприятия, с наиболее возможным удешевлением всего процесса сбора экоданных.

При проведении исследования определено, что для самой организации ВКХ г. Калуга, принимающей сточные воды в систему канализации от различных источников важно постоянно осуществлять контроль их качества.

Общая схема контроля включает отбор пробы, ее обработку с целью консервации измеряемого параметра и её транспортировку, хранение и подготовку пробы к анализу, измерение контролируемых параметров, обработку и хранение результатов.

Данные о результатах имеют большой объем, так как периодичность отбора проб, как правило, носит ежеквартальный характер. Накопление данных происходит в электронных журналах записи, которые созданы в таких приложениях, как Microsoft Office Word или Microsoft Office Excel.

Современные информационные технологии обеспечивают широкие возможности систематизации, обработки и отображения экологической информации [4].

Для организации ВКХ наиболее удобной в использовании может стать база данных. В основном данные методов экологического контроля отражают физико-химическое состояние исследуемого параметра (концентрация загрязнений в сточных водах), либо некоторую минимальную информацию об источнике (наименование и вид деятельности предприятия, характер стока, состав локальных сооружений очистки сточных вод) и представляются в виде набора таблиц.

Некоторые авторы [2] предлагают типизированную структуру базы данных. С их точки зрения структуру экологической базы данных можно рассматривать как иерархию определенных блоков (модулей): адресно-координатный блок; земельно-кадастровый блок; ландшафтно-тематический блок; блок нормативных показателей; блок наблюдений и анализов; блок множественных значений.

Как показало проведенное исследование, возможно разработать базу данных практического значения для ГП «Калугаоблводоканал» со следующим набором модулей:

- классификационный блок (разделение предприятий по отраслям экономики);
- лок-список предприятий (для каждой отрасли);
- карточечно-информационный блок (минимальная информация о предприятии: наименование, вид деятельности, наличие, состав и год ввода в эксплуатацию локальных очистных сооружений);
- блок нормативных показателей (указание регламентированных значений концентраций при сбросе стоков в канализацию);
- блок наблюдений и анализов (вся совокупность контролируемых ингредиентов, добавляемых в процессе работы с периодичностью один раз в квартал).

Внедрение в ГП «Калугаоблводоканал» описанной модернизации контроля количества и качества сточных вод, негативно влияющих на централизованные системы водоотведения (ЦСВ), будет соответствовать требованиям информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям [1]. База данных удовлетворит рекомендациям справочника по наилучшим доступным технологиям и позволит сохранить большой объем накопленных экоданных с возможностью их периодического пополнения и редактирования.

- Предложенный вариант структуры базы данных позволит оптимизировать работу специалистов организации ВКХ г. Калуги при ведении журнала состава и свойств сточных вод абонентов, упростит отслеживание колебаний состава поступающих в систему канализации стоков и величину превышения нормы, что сделает более своевременным контакт организации ВКХ с надзорными органами в области охраны окружающей среды.
- Внедрение методов НДТ позволит осуществлять более качественный и экономически обоснованный производственный контроль над качеством принимаемых сточных вод и, тем самым, будет способствовать предотвращению негативного воздействия на окружающую среду с учетом особенностей под отрасли очистки сточных вод.

### Список литературы

- [1]. Приказ Росстандарта от 15.12.2015 N 1580 "Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям "Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов"
- [2]. Структурирование экологической информации как необходимый этап создания баз данных информационно-управляющих систем/ В.В. Лебедев, И.Н. Гансвинд, И.Н. Горохова, Е.И.

Куприянова, И.Б. Прокуронов, В.А. Харитонов [Электронный ресурс]// журнал «Экология промышленного производства» №4, 2009. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12924771> (дата обращения 16.06.2017г)

[3]. Яковлева О.В., Крылова Л.А. Пути реконструкции и модернизации сооружений биологической очистки сточных вод города / Международный научно-технический журнал «Научное развитие технологий», № 6, июнь 2017 г. – М.: ООО Издательство «Радиотехника».

[4]. Якунина И.В., Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: уч. пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. – 188 с.

## **СЕКЦИЯ №17.**

### **ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12)**

#### **ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Самышева Е.Ю., Квон Г.М., Мухаметшин Р.З.**

КНИТУ-КАИ им. Туполева, РФ, г. Казань, КФУ, РФ, г. Казань

В последние годы для результативного ведения коммерческой деятельности и построения эффективных продаж непременно приходится осваивать новые технологии и оцифровывать деятельность. Без внедрения систем аналитики, электронных баз данных, программ по складскому учету и прочих современных инструментов, построение эффективного процесса продаж, дальнейшая жизнь и развитие компании невозможны.

За счет растущей скорости изменений появляются все новые инструменты, поэтому тему Интернет-технологий в определенной степени следует признать бесконечной для познания. Значимый вклад в становление практического применения Интернет-технологий в коммерческой деятельности внес образовательный проект Бизнес-Молодость.

С юридической точки зрения отрасль применения Интернет-технологий зарегулирована слабо, и, главное, не системно. С одной стороны, целый ряд документов рассматривают и описывают правовые отношения в Интернет-среде, с другой, в нормативных актах присутствуют законодательные пробелы и устаревшие понятия. В этой связи крупные Интернет-сервисы разрабатывают собственные правила и регламенты. Разумеется, их действие распространяется отнюдь не повсеместно, а, как правило, регулирует исключительно локальное использование этого сервиса. К примеру, соглашение Оферта на оказание услуг «Яндекс. Директ» [11] и масса других соглашений для использования других сервисов. В то же время использование Интернет-технологий плотно контактирует с другими отраслями права и нормативными документами. К примеру, размещение Интернет-рекламы полностью попадает под требование Федерального закона «О рекламе» [2]; гражданско-правовые отношения при Интернет-торговле – Гражданского Кодекса РФ [1] и законом 1992 года о введении электронной торговли [6], закон «О защите прав потребителей» [4]. Таким образом, правовую основу для ведения коммерческой деятельности при помощи Интернета создают как целевые законы РФ [2, 3, 4, 5, 6], так и нормативные акты из других отраслей права, а также локальные соглашения тех или иных сервисов, которые, впрочем, не должны противоречить основным законодательным актам, а лишь дополнять их.

Динамичное развитие Интернет-технологий отчасти объясняется огромной пользой, которую дает Интернет и людям, и бизнесу. Объединившись в глобальную сеть, они изменили жизнь всего мира, сделав невозможное возможным. Ключевых факторов, сделавших Интернет необходимым элементом осуществления и развития коммерческой деятельности, немного, но каждый из них необычайно важен.

1. Скорость. Интернет-технологии позволяют делать множество операций гораздо быстрее, чем без них.
2. Измеримость. Одним из самых маркетинговых каналов определено является Интернет. Результаты здесь измеримы. Традиционные площадки не могут предложить такой же минимизации рисков затрат. В Интернете предприятие способно отследить отдачу практически от каждого вложенного в рекламу рубля

благодаря сквозным системам аналитики (Яндекс.Метрика и Google Analytics) и их функционала [7]. Возможности аналитических систем необычайно широки, но даже базовый функционал поражает эффективностью. Сегодня есть возможность анализировать уровень относительного спроса на продукт, отталкиваясь от числа запросов в поисковых системах, причем делая разрезы по регионам (геотаргетинг). Оценить количество запросов можно при помощи специальных бесплатных сервисов. Например, установив код Яндекс.Метрики на сайт, можно контролировать число посетителей, источники их прихода и поведение внутри страницы сайта, конверсии в подписки, заявки, оплаты и т.д., изучать тепловые карты кликов и скроллинга в соответствии с рис. 1. Измеримость позволяет выделять значимое и усиливать его, исправлять слабое, а также исключить факторы, замедляющие развитие.

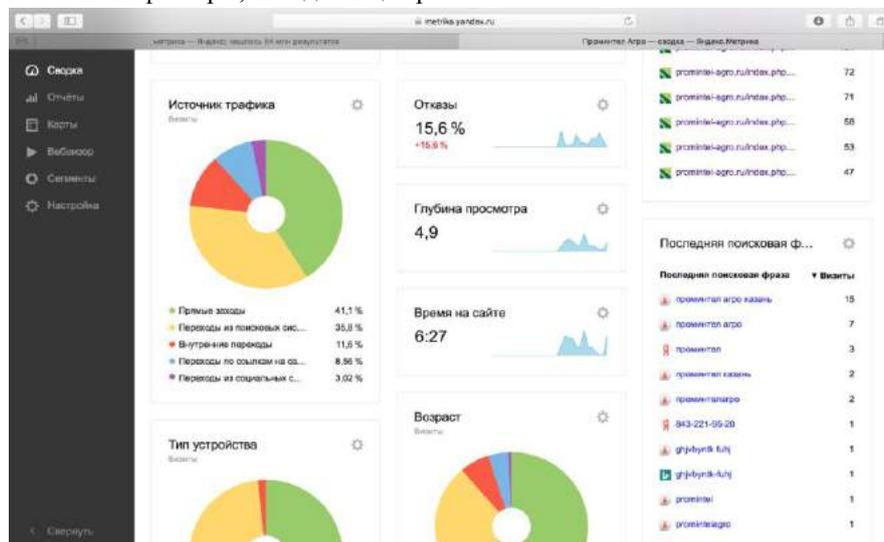


Рис. 1 – Интернет-расчет коммерческих показателей и обеспечение измеримости

3. Адресность (таргетинг). Здесь подразумевается возможность тонкой настройки рекламной кампании по целевой аудитории. Различают географический таргетинг (по городу, стране, району и т.д.), таргетинг по возрасту, полу, интересам и массе других признаков. Это позволяет компании взаимодействовать только с целевой аудиторией, что особенно важно в маркетинговых задачах, поскольку дает возможность платить только за целевое действие пользователя, например, переход (клик). Таким образом, таргетированное рекламное сообщение (т.е. настроенное по различным параметрам: ключевое слово, регион, возраст и т.д.) показывается качественным клиентам – людям, запросившим заданный «ключ» (продукт, услугу и пр.) в поиске, что повышает эффективность рекламного объявления. Предприятие может платить не за показы, а за клик, благодаря чему растут основные показатели эффективности рекламного объявления в частности, и всей кампании – в целом (окупаемость инвестиций, кликабельность).

4. Автоматизация. То, что прежде приходилось делать вручную, сегодня возможно делать автоматически или полуавтоматически используя современные Интернет-технологии. Это позволяет избавиться от рутинной работы, сэкономить на персонале и высвободить время для других, более полезных действий. К примеру, построенная один раз цепочка e-mail-рассылки, способна автоматически генерировать заявки для компании без участия человека в среднесрочной перспективе [10].

Конечной целью применения Интернет-технологий в коммерческой деятельности является прибыль и продажи. Во многом реальная жизнь современных людей (потенциальных клиентов) перетекла в Интернет. Наряду с улицами в мегаполисах, где текут потоки людей и машин, в Интернете присутствует трафик (поток посетителей). В маркетинге трафик рассматривается сквозь призму двух ключевых признаков: целевой/нецелевой (качественный/некачественный), бесплатный/платный. Охарактеризуем каждый из них:

А. Целевой трафик состоит из целевой аудитории, которая с максимальной вероятностью имеет потребность в предлагаемом компанией продукте или услуге.

Б. Нечелевой трафик – обратная противоположность целевому. Ему не нужен продукт или услуга компании.

В. Бесплатный (органический) трафик достается компании без инвестиций, приходит сам.

Г. Платный трафик осознанно закупается компанией для коммерческих целей. Источником привлечения платного трафика, как правило, является реклама, но не обязательно прямая. Закупкой трафика можно считать какой-то праздник, устраиваемый компанией с целью вовлечения аудитории и т.д.

Без трафика не будет продаж через Интернет. В большинстве случаев, большой трафик (люди) означает больше заявок и больше продаж, если подходит под портрет целевой аудитории. Трафик может быть как в онлайн, так и в офлайн пространстве. Поскольку тема затрагивает Интернет-технологии, то рассмотрим основные источники трафика в Интернете.

1. SEO (Search Engine Optimization) – поисковая оптимизация. Миллионы пользователей в Интернете ищут то, что их интересует в данный момент с использованием поисковых систем (Google, Яндекс и другие). Поисковая выдача формируется автоматически исходя из поисковых алгоритмов, которые используют поисковые роботы. На сегодняшний день главный принцип, по которому поисковики предлагают пользователю ответы – максимальное соответствие запросу и прямая польза материала, которую он дает. В соответствии с этим принципом на сегодня особый вес имеют социальные сети (поскольку ими пользуются все больше людей и информация потребляется непосредственно внутри них), а также поведенческий фактор пользователей – как много времени проводят люди за чтением этого материала, насколько охотно и как часто делятся им. При этом полностью не утратили влияние и старые факторы и инструменты поисковой оптимизации сайта: частота ключевых слов, аффинитивность тегов, логика построения модулей.

В долгосрочной перспективе органический трафик позволяет значительно сэкономить на рекламном бюджете. Проведя добросовестные работы по SEO, можно получить бесплатную поисковую выдачу по актуальным для неё запросам. Таким образом, пользователь, как минимум, увидит ответ компании на запрос, а, возможно, перейдет на сайт компании, чтобы получить ответ на свой вопрос и купить продукт, решающий его проблему. Исходя из многообразия факторов, влияющих на SEO, существует несколько инструментов по поисковой оптимизации:

а) SEO через контент — чтобы поисковик счел нужным предложить сайт компании на запрос пользователя необходимо, чтобы информация на рекомендуемой странице хотя бы минимально отвечала его запросу. Готовя контент (тексты, фото, видео) на максимальный перечень запросов, компания повышает вероятности частоты выдачи и посещаемость сайта;

б) SEO через метатеги и админку сайта — грамотно прописанные метатеги и ключевые слова, в соответствии с рис. 2., заметно повышают качество поисковой выдачи;

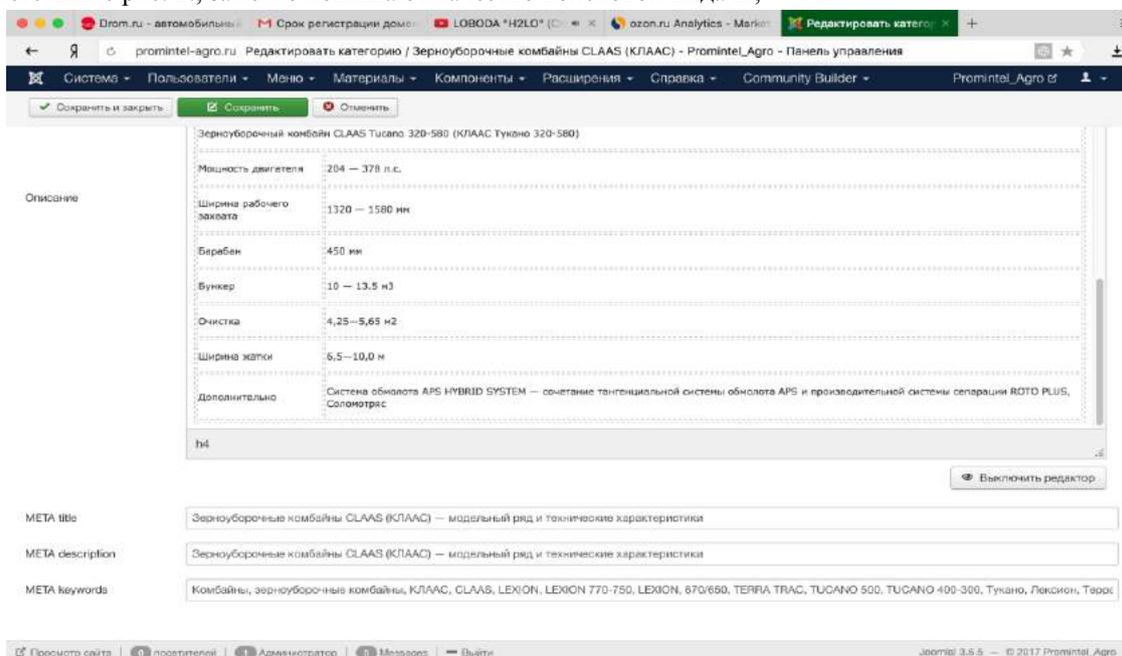


Рис. 2 – SEO оптимизация через метатеги и админку сайта

в) SEO через имитацию поведенческого фактора специальным программным обеспечением имитирует посещение сайта человеком, открывая страницы сайта с разными сессиями, прокручивая страницы сайта;

г) SEO через социальные сети имеет преимущества за счет большого веса социальных сетей. В результатах выдачи страницы в социальных сетях индексируются быстрее и выдаются выше. В результате сайт все выше и выше показывается в поисковиках в зависимости от заданных ключевых слов.

Минус SEO-оптимизации в том, что между работами и результатом существует временной лаг. Нормальной считается задержка от проведения работ до получения результата в течение двух-трех месяцев. Но на практике эти сроки могут заметно варьироваться в зависимости от построения сайта, качества контента, и, главное, конкуренции – представленности отрасли в Интернете. Кроме того, SEO только отчасти можно назвать бесплатным способом генерации трафика, поскольку SEO-оптимизация предусматривает траты на работу специалистов или сотрудников.

2. Контекстная реклама – быстрый способ генерации трафика, в отличие от SEO, и самый простой способ получить трафик на свой сайт, превратив его в продажи [8]. Обычно под этим термином подразумевают рекламную выдачу объявлений преимущественно в поисковых системах согласно запросу клиента.

В этой связи особенно актуально выставить и выбрать правильные лимиты стоимости клика, заранее рассчитать ориентировочную стоимость за клик, чтобы минимизировать вероятность появления ситуации, при которой цена привлечения клиента будет выше, чем компания заработает с него [9]. То есть рентабельность инвестиций (ROI) в этом случае будет ниже 100%. Для подсчета оптимальной ставки необходимо знать основные показатели бизнеса: средний чек (Ch), маржа (M, в процентах), процент от маржи (%M), инвестируемый в рекламу, конверсию сайта (CV1), куда попадает клиент при переходе по объявлению, а также конверсию (CV2) из заявки в сделку. Таким образом, оптимальную цену клика можно рассчитать по формуле:

$$\text{Рекомендуемая стоимость клика} = Ch * M * \%M * CV1 * CV2 \quad (1)$$

Однако, если погрузиться в тематику контекстной рекламы глубже, то благодаря системам аналитики предприятие может просто отключать неэффективные (дорогие) запросы. Поэтому важно качество проработки запросов. Обязательно использовать правило: одно объявление – один ключ. Чем больше будет запросов, включая не очевидные, тем больше вероятности нащупать эффективные ключевые слова, стабильно приносящие клиентов и прибыль. Составив огромное семантическое ядро, бизнес стабильно сможет генерировать клиентов.

Современные технологии контекстной рекламы позволяют конвертировать не только горячих (желающих скорее купить), но и теплых клиентов.

Кроме того, как показывает практика, даже профессиональный лендинг с хорошо настроенным Директом может не дать результата с первого запуска. Уникальное торговое предложение (УТП) даже при хорошей работе компании может не подойти людям или не выдержать конкуренции.

3. Социальные сети – в последние годы огромный вес по генерации трафика приобрели социальные сети: VK, Facebook, Инстаграм и другие сервисы. Люди все больше времени проводят в социальных сетях и привыкли к их интерфейсу. Поэтому важно общаться с клиентом в привычной для него среде, интегрировав коммерческую деятельность в социальных сетях.

На первый взгляд социальные сети несут только имиджевую функцию, но в среднесрочной-долгосрочной перспективе они могут быть каналом продаж.

4. Медийная реклама и баннерные сети – размещение графических баннеров на страницах сайта. В настоящий момент этот формат рекламы практически изжил себя сразу по нескольким причинам. Во-первых, появился софт, автоматически блокирующий трансляцию баннеров, в результате чего до 40% аудитории не видят рекламное сообщение. Во-вторых, классическое размещение медиабаннера имеет ограниченные возможности таргетинга (настройки по аудитории). Медиабаннеры заменили баннерные сети. Используя их, показывать баннер можно не на одном сайте, а на бесконечном множестве сайтов, причем транслировать рекламные сообщения только для аудитории ранее искавшей ключевую фразу в поиске или попадающей под целевую аудиторию (пол, возраст, город, интересы). Их отличие от контекстных сетей в том, что спусковым крючком к показам служат не ключевые слова, а портрет аудитории (место проживания, пол, возраст, доходы, интересы и прочие настройки). Здесь ниже конкуренция среди рекламодателей, а, следовательно, меньше и цена клика (но не менее трёх рублей). При этом есть возможность установить оплату за показ, и при грамотном подходе уменьшить стоимость перехода ниже ограничения.

5. Форумы являются концентрацией целевой аудитории. За счет относительно низкой популярности сайта цена размещения на форуме может быть небольшой или отсутствовать вовсе, если вести посевную деятельность. Ограничивающим фактором форумов является выгорание аудитории. Вся очерченная целевая аудитория становится уже знакома с предложением.

6. E-mail-рассылка – e-mail-маркетинг – инструмент, позволяющий построить долгосрочные отношения с клиентом, единожды проработав механику взаимодействия. Он един в трех лицах и сочетает в себе все три функции: сбор базы, ее монетизацию и повышение лояльности. Упуская одну из трех функций и не работая над каждой из них одновременно, упадет эффективность. Основные контрольные точки для управления e-mail-маркетингом: открываемость (Open rate) – доля писем, которые были открыты из числа разосланных; Click Rate – процент переходов получателем письма на одну или несколько ссылок в электронном сообщении; Click to open rate – отношение кликов к открытию писем; Bounce rate – показатель отказов, отписка. За техническую часть рассылки электронных писем по базе клиентов отвечают специальные платформы. Использование специальных сервисов актуально, когда база электронных адресов компании переваливает за тысячу [10].

7. Видео – канал генерации трафика и его трансформации в клиентов. Здесь сочетаются как минимум два канала передачи и восприятия информации: визуальный и звуковой. Дополнительные акценты можно расставить за счет наложения текста на изображение. Если человек не услышит важную информацию, он может её увидеть. Условно видео можно разделить на несколько основных категорий: продающее, информирующее, имиджевое и т.д.

8. Интернет-справочники – эти сервисы часто имеют базовый бесплатный пакет размещения, как правило, содержащий оффер и контактные данные компании. Присутствие в максимальном количестве подобных справочников в долгосрочной перспективе дает стабильную часть трафика.

9. Карты – аналогичный, но более продвинутый инструмент генерации трафика. Его определенная доля вполне может быть «подогрета», т.е. готова купить продукт или услугу компании. Дело в том, что в современных условиях люди часто ищут необходимое (особенно срочно) на картах, чтобы сразу понимать, где находится ближайшая компания, способная удовлетворить их потребности, много ли их, какие часы работы у нее и т.д.

Таким образом, для принятия верных управленческих решений критически необходимы интернет-инструменты, которые позволяют в полуавтоматическом режиме рассчитать объективные показатели рентабельности вложенных инвестиций.

### Список литературы

1. Гражданский кодекс РФ
2. Федеральный закон от 13.03.2006 № 38-ФЗ «О рекламе»
3. Закон РФ от 07.02.1992 № 2300-1 (ред. от 03.07.2016) «О защите прав потребителей»
4. Федеральный закон «О коммерческой тайне» от 29 июля 2004 года №98-ФЗ (в ред. Федерального закона от 02.02.2006 № 19-ФЗ, от 18.12.2006 № 231-ФЗ)
5. Федеральный Закон «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27.07.2006 г. № 149-ФЗ;
6. Федеральный закон от 6 июня 2001 года №1582-III ГД «Об электронной торговле»
7. Бизнес-Молодость [электронный ресурс] // Интернет: <http://molodost.bz/article/posadochnaya-stranitsa/#> [9 марта 2017]
8. Бизнес-Молодость Институт [электронный ресурс] // Интернет: <https://institute-bm.com/articles/instruktsiya-kak-zapustit-reklamnuyu-kampaniyu-v-google-adwords-za-chas> [9 мая 2017]
9. Бизнес-Молодость Институт [электронный ресурс] // Интернет: <https://institute-bm.com/articles/kak-rasschitat-tsenu-za-klik-v-yandeks-direkte> [16 марта 2017]
10. Бизнес-Молодость Институт [электронный ресурс] // Интернет: <https://institute-bm.com/articles/kak-zapustit-email-rassylku-po-svoey-baze> [2 мая 2017]
11. Яндекс. Правовые документы. [электронный ресурс] // Интернет: [https://yandex.ru/legal/oferta\\_direct/](https://yandex.ru/legal/oferta_direct/) [9 марта 2017]

## СЕКЦИЯ №18.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23)

#### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Карпенко С.М.

Горный институт ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», г. Москва

В деятельности по энергосбережению на промышленных предприятиях всегда важна роль человеческого фактора. Для решения задач повышения мотивации энергосбережения при организации энергоэффективного промышленного производства предлагается использовать концепцию человеческого капитала [3] и на этой основе изучить степень важности факторов человеческого капитала в разрезе различных групп персонала промышленных предприятий с помощью экспертных оценок [2].

1. Экспертам предлагается ответить на следующие вопросы анкеты.

Оцените важность каждого фактора мотивации энергосбережения по 5-балльной шкале для каждой группы персонала предприятия (1 балл – для наименее важного фактора, 5 баллов – для наиболее важного).

2. Результаты анкетирования представляются в виде таблицы 1.

**Таблица 1. Значения оценок важности факторов, влияющих на мотивацию энергосбережения, для i-го эксперта**

Группа персонала	Факторы					
	$X_1$	$X_2$	...	$X_j$	...	$X_m$
$G_1$	$c_{11}^l$	$c_{12}^l$	...	$c_{1j}^l$	...	$c_{1m}^l$
$G_2$	$c_{21}^l$	$c_{22}^l$	...	$c_{2j}^l$	...	$c_{2m}^l$
...	...	...	...	...	...	...
$G_k$	$c_{k1}^l$	$c_{k2}^l$	...	$c_{kj}^l$	...	$c_{km}^l$
...	...	...	...	...	...	...
$G_K$	$c_{K1}^l$	$c_{K2}^l$	...	$c_{Kj}^l$	...	$c_{Km}^l$

Здесь  $c_{kj}^l$  – балльная оценка i-м экспертом важности j-го фактора персоналом k-й группы ( $i = 1, 2, \dots, L$ ),  $L$  – число экспертов, ( $j = 1, 2, \dots, m$ ),  $m$  – число факторов,  $k$  – номер группы персонала ( $k = 1, 2, \dots, K$ ),  $K$  – число групп персонала.

Для деятельности по повышению энергоэффективности промышленного производства могут исследоваться следующие индивидуальные и коллективные факторы человеческого капитала:

- $X_1$  - уникальность работника;
- $X_2$  – стаж и опыт работы;
- $X_3$  - уровень образования;
- $X_4$  - участие в энергопотреблении;
- $X_5$  - степень влияния на энергосбережение;
- $X_6$  - общечеловеческая культура работника, в том числе культура энергопотребления;
- $X_7$  - уровень информированности об энергосбережении;
- $X_8$  - понимание корпоративной причастности («корпоративный патриотизм»).

В качестве групп персонала промышленного предприятия могут быть использованы следующие категории работников, так или иначе связанные с энергопотреблением и энергосбережением на производстве:

- G<sub>1</sub> - высшие и старшие менеджеры;
- G<sub>2</sub> - менеджеры подразделений;
- G<sub>3</sub> - ключевой персонал;
- G<sub>4</sub> - общий персонал;
- G<sub>5</sub> - персонал энергоменеджмента;
- G<sub>6</sub> - служба главного технолога, нормирования производства;
- G<sub>7</sub> - сотрудники проектного отдела;
- G<sub>8</sub> - служба закупок (в том числе нового оборудования).

3. Проводится проверка согласованности экспертных оценок в разрезе групп персонала с помощью коэффициента конкордации. Для каждой группы персонала проводится ранжирование оценок экспертов важности факторов. По результатам ранжирования, сведенного в таблицу 2, рассчитывается значение W.

**Таблица 2. Ранжированные значения оценок важности факторов, влияющих на мотивацию энергосбережения, для k-й группы персонала**

Эксперты	Факторы					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	...	X <sub>j</sub>	...	X <sub>m</sub>
1	x <sub>k1</sub> <sup>1</sup>	x <sub>k2</sub> <sup>1</sup>	...	x <sub>kj</sub> <sup>1</sup>	...	x <sub>km</sub> <sup>1</sup>
2	x <sub>k1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>k2</sub> <sup>2</sup>	...	x <sub>kj</sub> <sup>2</sup>	...	x <sub>km</sub> <sup>2</sup>
...	...	...	...	...	...	...
l	x <sub>k1</sub> <sup>l</sup>	x <sub>k2</sub> <sup>l</sup>	...	x <sub>kj</sub> <sup>l</sup>	...	x <sub>km</sub> <sup>l</sup>
...	...	...	...	...	...	...
L	x <sub>k1</sub> <sup>L</sup>	x <sub>k2</sub> <sup>L</sup>	...	x <sub>kj</sub> <sup>L</sup>	...	x <sub>km</sub> <sup>L</sup>

Коэффициент конкордации W находится по формуле, предложенной Кендаллом:

$$W = \frac{12S}{L^2(m^3 - m)} \quad (\text{в случае разных рангов}), \quad W = \frac{S}{\frac{1}{12}L^2(m^3 - m) - L \sum_{l=1}^L T_l} \quad (\text{в случае одинаковых}$$

рангов), где  $T_l = \frac{1}{12} \sum (t_l^3 - t_l)$ , ( $t_l$  - число одинаковых рангов в l-м ряду),

$$S = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{l=1}^L x_{kj}^l - \frac{1}{2} L(m+1) \right)^2.$$

Оценки экспертов считаются согласованными, если коэффициент конкордации принимает значения в интервале (0,5; 1). В случае несогласованности оценок экспертам предлагается заново ответить на вопрос анкеты. При согласованности экспертных оценок выполняется пункт 4.

4. Агрегация мнений экспертов представляется в виде таблицы 3.

**Таблица 3. Агрегированные значения экспертных оценок важности факторов, влияющих на мотивацию энергосбережения**

Группа персонала	Факторы					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	...	X <sub>j</sub>	...	X <sub>m</sub>
G <sub>1</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	...	A <sub>1j</sub>	...	A <sub>1m</sub>
G <sub>2</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	...	A <sub>2j</sub>	...	A <sub>2m</sub>
...	...	...	...	...	...	...
G <sub>k</sub>	A <sub>k1</sub>	A <sub>k2</sub>	...	A <sub>kj</sub>	...	A <sub>km</sub>

...	...	...	...	...	...	...
<b>G<sub>к</sub></b>	$A_{K1}$	$A_{K2}$	...	$A_{Kj}$	...	$A_{K1}$
<b>Средние значения</b>	$A_1$	$A_2$	...	$A_j$	...	$A_m$

Здесь:  $A_{kj}$  - средние экспертные оценки факторов для каждой группы персонала:  $A_{kj} = \frac{\sum_{l=1}^L a_{kj}^l}{L}$

, (k = 1, 2, ..., K);

Средние по группе оценки факторов  $A_{kj}$  выявляют внутригрупповые особенности распределения

важности факторов  $A_j$ :  $A_j = \frac{\sum_{k=1}^K A_{kj}}{K}$ , (j = 1, 2, ..., m).

5. Выявление общих (в разрезе различных групп персонала) закономерностей в оценке факторов, влияющих на мотивацию энергосбережения, производится с помощью метода главных компонент [1].

Метод главных компонент позволяет:

- оценить важность и полноту набора факторов;
- выявить латентные факторы.

В качестве исходных данных метода главных компонент используются данные таблицы 2.

В результате реализации вычислительных процедур метода главных компонент вычисляется матрица факторных нагрузок (таблица 4), главные компоненты и их собственные значения.

Главные компоненты нумеруются в порядке убывания собственных значений

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j \geq \dots \geq \lambda_m, \quad \sum_{j=1}^m \lambda_j = m.$$

Факторы включаются в j-ю главную компоненту, если их факторные нагрузки  $b_j^k$  удовлетворяют

условию  $\left| b_j^k \right| \geq 0,7$ . Таблица 4. Результаты применения метода главных компонент (матрица

факторных нагрузок)

		Главные компоненты					
		<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	...	<b>F<sub>j</sub></b>	...	<b>F<sub>m</sub></b>
<b>Факторы</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	$b_1^1$	$b_2^1$	...	$b_j^1$	...	$b_m^1$
	<b>X<sub>2</sub></b>	$b_1^2$	$b_2^2$	...	$b_j^2$	...	$b_m^2$
	...	...	...	...	...	...	...
	<b>X<sub>j</sub></b>	$b_1^k$	$b_2^k$	...	$b_j^k$	...	$b_m^k$
	...	...	...	...	...	...	...
	<b>X<sub>m</sub></b>	$b_1^K$	$b_2^K$	...	$b_j^K$	...	$b_m^K$
<b>Собственные значения</b>		$\lambda_1$	$\lambda_2$		$\lambda_j$		$\lambda_m$

Оценка значимости факторов производится по величине собственных значений  $\lambda_j$ .

Ограничение на применение метода главных компонент – число групп персонала должно быть не менее числа факторов ( $K \geq m$ ).

Результаты исследований позволят определить факторы человеческого капитала и группы персонала, оказывающие наибольшее влияние на эффективность деятельности по энергосбережению, на основе чего необходимо выработать предложения по совершенствованию мотивационной политики на предприятии, а также включить в систему оценки профессиональной квалификации и должностные инструкции работников требования к их знаниям и навыкам в области повышения энергоэффективности.

#### Список литературы

1. Андрукович П.Ф. Применение метода главных компонент в практическом исследовании. – М.: МГУ, 1973. – 123 с.
2. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 265 с.
3. Карпенко С.М., Карпенко М.С. Совершенствование управления энергосбережением на промышленных предприятиях. Монография. – М.: МИЭЭ, 2017. – 180 с.

#### **СЕКЦИЯ №19.**

#### **НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08)**

#### **СЕКЦИЯ №20.**

#### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05)**

#### ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫЙ КОНТЕКСТ ПРИ АНАЛИЗЕ ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Кулакина Н.С., Хахалин Г.К.**

НИЦЭВТ, РФ, г. Москва

##### Введение

Проблема распознавания образов является одной из фундаментальных в области искусственного интеллекта. Проблема эта междисциплинарна, наиболее перспективно направление ее решения, связанное с использованием методов искусственного интеллекта. Данная работа ориентирована на частную, но важную задачу анализа графических объектов с использованием естественно-языковых описаний. Традиционными методами (как искусственного интеллекта, так и статистическими) многие задачи были достаточно успешно решены, можно назвать оптическое распознавание символов, штрих-кодов, лиц, распознавание речевой информации и т.д. Однако методы использования контекста, помогающего распознаванию, пока развиты значительно слабее. Контекст, в частности, может помочь при распознавании сильно зашумленного естественно-языкового (ЕЯ) текста. В данной статье контекст предлагается использовать при анализе креолизованного текста, представляющего собой смесь естественно-языковых описаний и графических объектов (например, чертежей).

##### 1. Основная логика

Важность интеграции классических методов распознавания зрительных образов и методов концептуального анализа изображений отмечена в [4]. Там же намечена логика функционирования гетерархической системы разбора и понимания изображений, гибко переключающей режимы классического и концептуального распознавания. Напомним, что, по определению, **Гетерархия** - это система, образованная пересекающимися, разнообразными и одновременно сосуществующими структурами управления. Понимание изображений – это не просто отнесение объектов на изображении к известным классам, а структурное описание изображения в виде объектов, их свойств и отношений (т.е. на языке представления знаний или в структурах онтологии).

Логика работы в предлагаемом подходе включает следующие этапы:

- лингвистический анализ текста, описывающего изображение (формируется онтологическое представление текста);
- графический анализ изображения, управляемый онтологическими структурами, полученными после ЕЯ-обработки;
- онтологический синтез изображения и его ЕЯ-описания.

Взаимодействие через общее онтологическое представление позволяет первым двум этапам перехватывать инициативу в зависимости от текущей ситуации распознавания. Результат анализа на языке онтологии может, в частности, иметь вид:

- $\langle \text{треугольник} \rangle$  имеет\_имя  $\langle \text{ABC} \rangle$ ,
- $\langle \text{треугольник} \rangle$  имеет\_свойство  $\langle \text{равносторонний} \rangle$ ,
- $\langle \text{треугольник} \rangle$  вписан\_в  $\langle \text{окружность} \rangle$

Семантика этого описания заметно выше стандартного перечня распознанных объектов, отнесенных к классам: line-1, line-2, line-3, circle-1, letter-1, letter-2, letter-3 (три отрезка, окружность и три буквы). Естественно, проверка на совпадение концов отрезков (определяющее треугольник), отношения "вписан\_в" и соответствие букв вершинам треугольника выполняется с помощью онтологии.

## 2. Инструментальные средства и программная реализация

В данной работе использовалось онтологическое представление, общее для различных источников информации (анализ изображений, синтез изображений, анализ естественного языка) и их комбинаций. В настоящий момент это представление разработано в экспериментальной версии с помощью инструментальных средств СУБД Progress. В качестве вспомогательных системы распознавания использовались MyScript Notes и Fine Reader, а также чисто экспериментальный упрощенный распознаватель раstra.

Программная реализация выполнялась на языке ABL 4PL, обеспечивающего как доступ к базе данных (онтология), так средства визуального программирования. Для лингвистической обработки использовались ранее разработанные программы [3], базирующиеся на адаптированной концепции перифразирования, развитой известным лингвистом Апресяном [1].

## 3. Эксперимент

Для эксперимента использовались фрагменты текстов и чертежей из учебника геометрии [2]. Типичный пример фрагмента приведен на рис. 1.

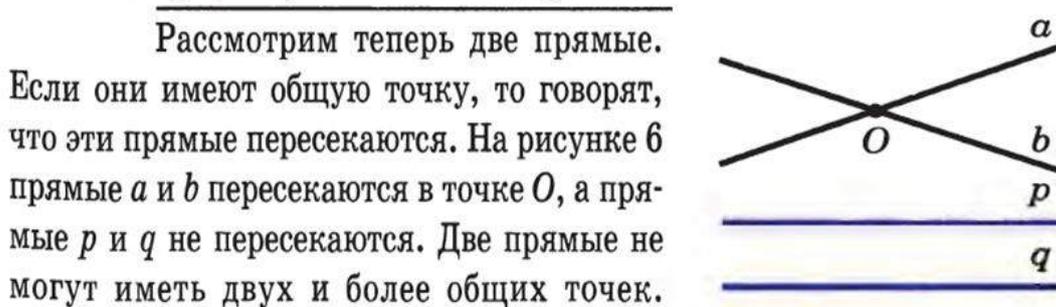


Рис. 1. Фрагмент текста из учебника геометрии и соответствующего чертежа.

Текст фрагмента был получен с помощью Fine Reader и передавался на вход лингвистического транслятора, формирующего онтологическую структуру с соответствующими концептами. Далее выполнялся процесс распознавания чертежа, управляемый результатами ЕЯ-обработки.

Традиционное распознавание дает описание на уровне - 4 объекта, каждый из которых относится к классу "отрезок" и 5 букв. Структурное распознавание на уровне языка онтологии аналогично данному выше при описании логики работы. Семантика структурного описания легко извлекается из онтологических структур: 4 отрезка примерно равной длины, отрезки a и b пересекаются, отрезки p и q параллельны. Точка O является точкой пересечения a и b. В онтологии определяется, что отрезок - часть прямой и однозначно ее задает. Более точно - отрезки прямых a, b, p и q, но в текущей реализации это не отражено.

Распознаватель определяет отрезки (line), с их координатами (и буквы), которые поступают для онтологического анализа. Онтология соотносит ЕЯ-описание чертежа с результатами предварительного

графического анализа и формирует отношения <пересекаются>, <параллельны>, <примерно равны> и <именует>. Для контроля онтологическая структура также может быть отображена в графике.

Аналогично выполняется структурное распознавание для других объектов: окружностей, квадратов, многоугольников и т.д. При этом описание выдается с учетом ЕЯ-описаний объектов, стандартных для данной прикладной области. Например, вместо стандартного «две окружности и два отрезка» структурное описание выдаёт описание типа «две непересекающиеся окружности, в первой проведена хорда, во второй диаметр».

Точнее, описание на языке онтологии: *окр-1 непересекается* *окр-2*, *отр-1 является* *хорда-1*, *отр-2 является* *диаметр-1*, *хорда-1 принадлежит* *окр-1*, *диаметр-1 принадлежит* *окр-2*. Программа упрощенного ЕЯ-синтеза выводит текст, описывающий каждый триплет онтологии. Вопрос о полноценном ЕЯ-описании онтологической структуры выходит за рамки данной работы.

Заключение

Эксперимент подтвердил работоспособность макета, воплощающего основную идею работы и жизнеспособность развиваемого подхода. Предполагается дальнейшее исследование ориентировать на расширение областей применения и улучшение технологических характеристик макета. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 15-07-03847, «Интерпретация технически-ориентированных текстов на естественном языке с помощью прикладных онтологий» .

### Список литературы

1. Апресян Ю. Д. и др.) Лингвистическое обеспечение системы ЭТАП-2. М.: Наука, 1989.
2. Атанасян Л.С. и др., Учебник Геометрия 10-11, Просвещение, 2009, с. 255.
3. Лобзин А. П. и др., Интеграция на базе онтологии естественного языка и изображений в системе Text-To-Picture, Труды VIII Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», Физматлит, 2015, 296-305.
4. Хахалин Г.К. и др. Комплекс для гетерархической системы разбора и понимания изображений // Труды XV национальной конференции по Искусственному Интеллекту с международным участием – КИИ-2016, С. 123-131.

## СЕКЦИЯ №21.

### МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08)

#### ОПИСАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ЧИСЛА ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В БАЗЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Артюшина Т.Г.

к.т.н., доцент кафедры “Высшая математика”

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва

Представим, что человек выбирает из картотеки необходимые ему карточки. Некоторые карточки он откладывает сразу – «не подходят», некоторые он откладывает в стопочку «подходят», а некоторые карточки из стопки «подходит» он отмечает красным фломастером – «очень хорошо подходят». Алгоритмизировать данную процедуру с точки зрения четкой логики возможно лишь в том случае, если критерий выбора один и четко описан. На практике так бывает очень редко. Выходом из данной ситуации может служить теория нечетких множеств. Входные данные – **четкое множество** (количество карточек в картотеке ограничено), однако критерии отбора – нечеткие. Выходные данные – также четкое множество .

Постараемся объяснить процедуру отбора на примере выбора главного двигателя малооборотного дизеля с прямой передачей на винт.

Исходными данными являются:

- заданная эксплуатационная скорость хода, узлы;
- осадка судна в полном грузу, м;

- коэффициент неравномерности потока;
- коэффициент засасывания;
- коэффициент попутного потока;
- буксировочная мощность при заданной скорости хода, кВт;
- число гребных винтов.

*Выходными данными являются:*

- общий пропульсивный к.п.д. при расчетной мощности,
- общий пропульсивный к.п.д. при выбранном двигателе,
- расчетная мощность на один винт, кВт;
- суммарная расчетная мощность, кВт;
- фактическая мощность на один винт при выбранном двигателе, кВт;
- фактическая мощность энергетической установки, кВт;
- частота вращения винта, об/мин;
- число цилиндров выбранного двигателя;
- длина дизеля габаритная, м;
- длина дизеля по фундаменту, м;
- высота дизеля габаритная, м;
- высота дизеля от оси вращения до головок цилиндров, м;
- расстояние от оси вращения до основания, м;
- высота дизеля ремонтная (с учетом выемки поршней), м;
- ширина дизеля, м;
- сухая масса дизеля, т;
- удельный расход топлива, т/кВт. час;
- удельный расход смазочных материалов, т/кВт.ч. ;
- достижимая скорость хода при выбранной энергетической установке, узл.;
- марка дизеля;
- масса по разделу нагрузки «Энергетическая установка», т;
- необходимая площадь машинного отделения, кв.м.

Все двигатели, содержащиеся в каталогах, сгруппированы по частотам вращения вала отбора мощности. Внутри группы с одинаковой частотой вращения двигателя упорядочены по возрастанию мощности. После расчета потребной мощности на один винт (при двух вальной установке мощность распределяется между валами поровну) подбирается ближайший, превышающий эту мощность дизель из каждого семейства, для которого рассчитываются характеристики винта и общий пропульсивный коэффициент. В итоге отбирается двигатель минимальной мощности.

Недостатки подхода – выбран один вариант, оптимальный только по мощности.

Выбранный двигатель (единственный вариант) не рассматривается:

- с точки зрения экономики:
  - первоначальной стоимости;
  - совокупной стоимости владения (частота и стоимость плановых ремонтов в период расчетной эксплуатации);
  - потребления горючего и т.п.
- с точки зрения экологии:
  - выбросы отравляющих веществ и т.п.;
- с других точек зрения.

То есть по данным параметрам решение не оптимизировано и не может быть изменено. Все разговоры о дальнейшей оптимизации с точки зрения экономики – пустой звук, мы можем только обсчитать экономически выбранный вариант. Ни о какой оптимизации речи нет. Если мы действительно хотим оптимизировать решение экономически (это глобальный критерий задачи), то необходимо на данном этапе расширить множество возможных полученных вариантов (рассчитать несколько двигателей). Однако в терминах четкой логики это сложно. Задача с точки зрения человека, перебирающего карточки, получается выглядящей следующим образом – отобрать  $n$  карточек для дальнейшей работы. Однако ‘ $n$ ’ – это сколько? Три, пять, десять? И как их отбирать – перебрав половину картотеки, человек уже отобрал  $n$  карточек. Стоит

ли выбирать дальше, а если стоит – что делать с уже отобранными. Или второй случай – он уже перебрал все, но отобрал только две подходящие – что делать дальше?

В отношении нашей задачи критерий выбора двигателей данный пример формулируется следующим образом:

В итоге отбираются три двигателя минимальной мощности, из них выбирается самый дешевый (вводим дополнительный критерий - стоимость).

Данная постановка вопроса не даст желаемого результата. Во-первых, почему именно три? Если есть двадцать приблизительно одинаковых по мощности двигателей, сужение количества рассматриваемых вариантов до трех неоправданно (мы можем не рассмотреть действительно оптимальный вариант), а если такой двигатель всего один – мы включим в рассматриваемую область два двигателя другого класса, не подходящих изначально. Выходом в данной ситуации может послужить использование теории нечетких множеств, расширяющее множество вариантов решения задачи выбора двигателя (см. Рис. 1).

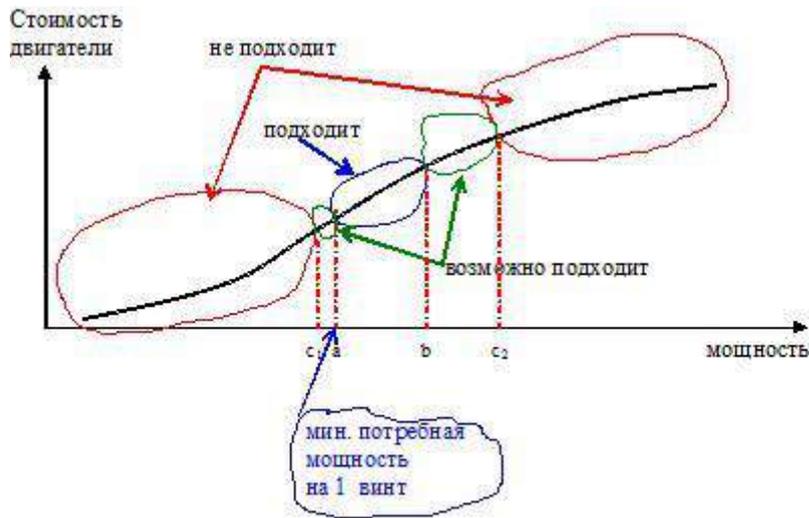


Рис. 1. Выбор вариантов двигателя с использованием теории нечетких множеств

При построении функций принадлежности основным является понятие относительного предпочтения одного двигателя перед другим, т.е. для двух двигателей  $x_1$  и  $x_2$  можно записать  $x_1 < x_2$  в том случае, когда двигатель  $x_2$  более предпочтителен с точки зрения эффективности, чем  $x_1$ . В нашем случае предпочтительность одного двигателя перед другим вызвана только мощностью двигателя, в данном примере не анализируются причины технологического, экономического, надежностного, экологического характера и различные субъективные причины, вызванные неформальными сведениями, которыми обладает лицо, принимающее решение.

Функция принадлежности  $\mu_{\text{двиг}}(x) \in [0,1]$  ставит в соответствие каждому двигателю  $x$  число из интервала  $[0,1]$ , характеризующее степень его принадлежности к подмножеству  $D$  эффективных и допустимых решений. Математическое описание зависимости без расширения количества критериев (только мощность  $x$ ) может выглядеть так :

$$\mu_{\text{двиг}}(x, a, b, c_1, c_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < c_1 \text{ или } x > c_2 \\ 1, & \text{если } a < x < b \\ 1 - \frac{x-a}{a}, & \text{если } b \leq x \leq c_2 \\ 1 - k * \frac{a-x}{a}, & \text{если } c_1 \leq x \leq a \end{cases}$$

Первая строка соответствует состоянию «не подходит», вторая строка – состоянию «подходит», третья и четвертые описывают области «возможно подходит». Коэффициент  $k$  четвертой строки – «штрафной» коэффициент недостатка мощности.

Пример:

$a$ =минимальная мощность на винт (рассчитывается)

$$\begin{aligned}
b &= 1.1 * a, \\
c_1 &= 0.95 * a, \\
c_2 &= 1.3 * a, \\
k &= 10.
\end{aligned}$$

В данном случае двигатель минимальной мощности (двиг.1) и двигатель с мощностью, большей минимальной на 8% (двиг.2) будут иметь  $\mu_{\text{двиг}}=1$  (подходит), двигатель с мощностью, большей минимальной на 25% (двиг.3) будет иметь  $\mu_{\text{двиг}}=0.75$  (возможно подходит), двигатель с мощностью, меньшей минимальной на 5% (двиг.4) будет иметь  $\mu_{\text{двиг}}=0.5$  (возможно подходит). Матрица  $\mu_{\text{двиг}}$  будет иметь вид  $\mu_{\text{двиг}}(1,2,3,4)=[1, 1, 0.75, 0.5]$ . На выходе получим  $n$  вариантов, каждый со своим  $\mu_{\text{двиг}}$ .

Передаем варианты (вместе с  $\mu_{\text{двиг}}$ ) в следующий блок – «Процедура расстановки главных водонепроницаемых переборок».

Рассматривая эту процедуру расстановки переборок аналогично предыдущей (вводя нечеткие критерии, к примеру «соответствует требованиям аварийной посадки»), получим несколько вариантов расстановок переборок для каждого двигателя со своими  $\mu_{\text{переборки}}$ . Матрица  $\mu_{\text{переборки}}$  будет в общем случае иметь неравномерный вид (к примеру, для первого двигателя мы получим три варианта переборок с  $\mu_{\text{переборки,двиг1}} = 1, 1, 0.7$  соответственно, для второго двигателя – 5 вариантов с  $\mu_{\text{переборки,двиг2}} = 1, 1, 1, 0.7, 0.5$  соответственно, для третьего и четвертого – по два варианта переборок  $\mu_{\text{переборки,двиг3}}=0.9, 0.7$  и  $\mu_{\text{переборки,двиг4}}=0.7, 0.6$ ):

$$\mu_{\text{переборки}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.7 \\ 1 & 1 & 1 & 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.7 \\ 0.7 & 0.6 \end{bmatrix}$$

Каждая строка описывает допустимые значения с точки зрения аварийности посадки для одного двигателя. Данную нерегулярную матрицу легко привести в регулярный вид путем добавления незначущих 0 (недопустимых решений):

$$\mu_{\text{переборки}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Тогда итоговая матрица для системы «подходящий двигатель + переборки, соответствующие требованиям аварийной посадки», рассчитываемая по формуле  $\mu_{\text{системы}} = \mu_{\text{двиг}} \wedge \mu_{\text{переборки}}$ , будет выглядеть следующим образом:

$$\mu_{\text{системы}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.7 & 0.5 \\ 0.75 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

После того, как мы получим все варианты, необходимо еще раз проверить их соответствие граничным условиям (пересчитать, к примеру, скорость на основании выбранного двигателя, установленных переборок и т.п., так как первоначальный расчет мощности двигателя брался «по образцу», такой расчет не может гарантировать необходимую точность). Таким образом, мы осуществляем обратную передачу данных на нижележащие уровни и пересчет параметров. Решения, не удовлетворяющие заданным критериям, отбрасываются.

### Список литературы

1. Артюшина Т.Г., Бобрик Г.И. Использование теории нечетких множеств для описания и согласования объектов одного уровня многоуровневой иерархической системы «судно» с последующим встраиванием их в систему.-Научные технологии, 2017, Т.18, №2, с.4-7.
2. Артюшина Т.Г. Описание и оптимизация элемента многоуровневой системы «судно» на основе теории нечетких множеств. – Морской вестник, 2010, №4, с.99-101
3. Артюшина Т.Г. Выбор математической модели для описания многоуровневой , многоцелевой технической системы типа «судно» на начальных стадиях проектирования.- Научные технологии, 2015, Т.16, №5, с.5-11
4. Артюшина Т.Г. Алгоритм согласования в процедуре многоуровневой оптимизации судов. – Морской вестник, 2008, №1, с.85-88

## ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД

### Январь 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Актуальные вопросы технических наук в современных условиях»**, г. Санкт-Петербург

Прием статей для публикации: до 1 января 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 февраля 2017г.

### Февраль 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом»**, г. Новосибирск

Прием статей для публикации: до 1 февраля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 марта 2017г.

### Март 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения»**, г. Екатеринбург

Прием статей для публикации: до 1 марта 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 апреля 2017г.

### Апрель 2017г.

IV Международная межвузовская научно-практическая конференция **«Актуальные вопросы науки и техники»**, г. Самара

Прием статей для публикации: до 1 апреля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 мая 2017г.

### Май 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Проблемы и достижения в науке и технике»**, г. Омск

Прием статей для публикации: до 1 мая 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июня 2017г.

### Июнь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем»**, г. Казань

Прием статей для публикации: до 1 июня 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июля 2017г.

#### **Июль 2017г.**

IV Международная научно-практическая конференция **«Перспективы развития технических наук»**, г. Челябинск

Прием статей для публикации: до 1 июля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 августа 2017г.

#### **Август 2017г.**

IV Международная научно-практическая конференция **«Технические науки в мире: от теории к практике»**, г. Ростов-на-Дону

Прием статей для публикации: до 1 августа 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 сентября 2017г.

#### **Сентябрь 2017г.**

IV Международная научно-практическая конференция **«Современный взгляд на проблемы технических наук»**, г. Уфа

Прием статей для публикации: до 1 сентября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 октября 2017г.

#### **Октябрь 2017г.**

IV Международная научно-практическая конференция **«Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития»**, г. Волгоград

Прием статей для публикации: до 1 октября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 ноября 2017г.

#### **Ноябрь 2017г.**

IV Международная научно-практическая конференция **«Новые технологии и проблемы технических наук»**, г. Красноярск

Прием статей для публикации: до 1 ноября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 декабря 2017г.

#### **Декабрь 2017г.**

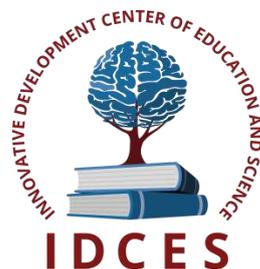
IV Международная научно-практическая конференция **«Развитие технических наук в современном мире»**, г. Воронеж

Прием статей для публикации: до 1 декабря 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 января 2018г.

С более подробной информацией о международных научно-практических конференциях можно ознакомиться на официальном сайте Инновационного центра развития образования и науки [www.izron.ru](http://www.izron.ru) (раздел «Технические науки»).

**ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE**



**Современный взгляд на проблемы технических наук**

**Выпуск IV**

**Сборник научных трудов по итогам  
международной научно-практической конференции  
(11 сентября 2017 г.)**

**г. Уфа**

**2017 г.**

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка авторская

Подписано в печать 10.09.2017.  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 9,2.  
Тираж 250 экз. Заказ № 093.

Отпечатано по заказу ИЦРОН в ООО «Ареал»  
603000, г. Нижний Новгород, ул. Студеная, д. 58.