

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение и машиноведение

Исследование исходных предпосылок для выбора величины деформирующей силы

И.А. Чечета, А.Е. Чечета..... 4

Информатика, вычислительная техника и управление

Идентификация нейро-нечетких моделей для данных больших объемов

А.К. Погодаев, П.В. Сараев..... 8

Интеграция системы 1С:PDM И APPIUS-технология

А.В. Барабанов, А.М. Нужный, Э.Е. Прудников, С.А. Коваленко..... 12

Система контроля дестабилизирующих факторов подвижного состава

Д.В. Журавлёв, Ю. С. Балашов..... 15

Разработка PLM-компоненты для интеграции 1С:PDM с другими системами

В.Ф. Барабанов, В.В. Сафронов, Э.Е. Прудников, С.А. Коваленко..... 20

Психолингвистический анализ информационных данных

К.Ю. Гусев, В.Л. Бурковский..... 23

Организация обмена технологическими данными в системе 1С:PDM

А.М. Нужный, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, В.В. Сафронов..... 26

Многокритериальная оптимизация схем расположения объектов
производственных комплексов

И. М. Зуга, В. Г. Хомченко..... 30

Актуальные вопросы подготовки высококвалифицированных специалистов в
сфере информационных технологий с участием международных компаний

В.Ф. Барабанов, С.Л. Кенин, С.Л. Подвальный, В.В. Сафронов..... 36

Обеспечение интероперабельности систем формирования стандартизированных
профилей

А.В. Аристов..... 40

Модульное построение распределённой информационной системы
машиностроительного предприятия

В.В. Сафронов, В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, С.Л. Подвальный..... 44

Реализация процесса имитации выполнения проектов со случайной
длительностью отдельных работ

С.А. Олейникова..... 51

Алгоритмы реконфигурации распределенной компьютерной системы:
верификация и моделирование

Тхай Фыонг Чук..... 56

Анализ возможности интеграции систем ANSYS И 1С:PDM

В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, С.А. Коваленко, Э.Е. Прудников..... 62

Особенности вероятностного вывода в больших базах данных

Нгуен Сон Лам..... 64

Радиотехника и связь

Об одном способе радиоэлектронного подавления радиолокационных станций,
оснащенных адаптивными компенсаторами помех

М.Г. Калашников, В.Г. Керков..... 69

Распознавание вида модуляции сигналов в системах радиомониторинга	
Е.И. Воробьева, Р.А. Немцов, П.П. Чураков.....	72
Угловая дисперсия антенны дифракционного излучения	
А.В. Останков, И.А. Кирпичёва, А.И. Рябчунов.....	76
Оценка показателей радиоэлектронной защиты систем связи с кодовым разделением каналов	
Н.А. Самоцвет.....	80
Универсальный показатель эффективности маскирующих и имитационных помех для защиты речевой информации	
Е.Н. Глущенко, С.Н. Панычев, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет.....	85

Энергетика

Источник бесперебойного питания автономных электроприводов систем пожарной защиты	
В. И. Рышков, А. В. Смольянинов, А. П. Чабала.....	90
Асинхронный электропривод многоопорных транспортных средств	
В.Д. Волков, А.В. Смольянинов, В.И. Рышков, А.П. Чабала.....	94
Анализ программно-аппаратного обеспечения сетей SMART GRID	
В.Н. Крысанов, Ю.В. Шарапов, А.Л. Руцков.....	97

Физика

Возможность применения импульсного электролиза как одного из методов формирования мелкокристаллической структуры при катодном восстановлении металлов	
А. В. Звягинцева.....	102
Исследование механизмов оптической активации адсорбционных процессов на поверхности пленок SnO ₂	
С.И. Рембеза, Т.В. Свистова, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева, С.В. Овсянников.....	107
Математическое моделирование образования отложений на теплообменной поверхности трубки в условиях турбулизации	
А.В. Муравьев, И.Л. Батаронов.....	111
Двухпараметрическая асимптотика для модели процессов обмена в динамическом слое	
А.П. Бырдин, А.А. Надеев, А.А. Сидоренко.....	115

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ ВЫБОРА ВЕЛИЧИНЫ
ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ СИЛЫ**

И.А. Чечета, А.Е. Чечета

Показано, что для случая, когда деформирующая сила является силой резания, обоснованное преимущество получают те вычисления, которые опираются на предварительные статические прочностные испытания, представляемые в координатах «напряжение σ – истинная относительная деформация ε »

Ключевые слова: расчет силы резания, стандартные испытания

1.1. Общие сведения. Обычно представление о количестве вводимой энергии в технологическую систему для выполнения требуемой работы формируют на основе внешней деформирующей силы, которая должна на определённом отрезке пути воздействовать на конкретный предмет труда. Величина этой силы часто предопределяется очень большим числом факторов. Одним из таких случаев является резание (например, при токарной обработке), когда пластическое деформирование сопровождается удалением с обрабатываемой поверхности определённого слоя материала. Здесь внешней силой в слое материала создают очаг пластического деформирования, в котором сразу же возникает сосредоточенное поле напряжений, противодействующее внешней силе. Попутно имеющимся на инструменте острым лезвием провоцируют в очаге направленное нарушение сплошности материала, в результате слой материала отделяется, превращаясь в стружку. Корнем (основанием) стружки является очаг пластического деформирования. В тех технологических процессах, которые связаны со стружкообразованием, деформирующую силу традиционно называют силой P резания. Под воздействием этой силы стружка получает существенную усадку, то есть длина образующейся стружки оказывается короче поверхности, на которой располагался материал, переходящий в стружку. При этом инструмент (например, резец), передавая силу, возбуждает одновременно следующие явления:

- нарушение сплошности в материале из-за подрезания слоя, предназначенного для удаления;
- пластическое деформирование в виде усадки слоя, превращающегося в стружку;
- существенное выделение тепла, сопровождающего пластическую деформацию, получившей название «усадка стружки».

Эти явления поглощают практически всю энергию, называемую в практике работой резания. Основная часть этой работы переходит в тепло, как на этапе

нарушения сплошности в материале, так и на этапе пластического деформирования, которое предопределяет усадку стружки. При этом основное количество тепла, возникающего в процессе резания, является результатом внутреннего трения в обрабатываемом материале. Дополнительным источником тепла является внешнее трение между инструментом и стружкой, контактирующей с его передней гранью, а также – между задней гранью инструмента и обработанной поверхностью изготавливаемой детали.

То, что в процессе резания основное количество тепла образуется из-за пластического деформирования (усадки стружки), подтверждено опытом современного машиностроения. Так, при токарной обработке металлов резанием около 80 % (и более – в зависимости от скорости резания) тепла из зоны резания уходит со стружкой, претерпевшей усадку, а остальное тепло распределяется между резцом, изделием и другими конструктивными элементами технологического оснащения, прямо или косвенно примыкающими к зоне резания.

Повышенный нагрев резца и изделия неизбежно автоматически приводит к изменению заранее назначаемых технологических параметров резания. Так, в определённой мере изменяется глубина резания из-за температурного расширения резца и обрабатываемого изделия; становится возможным изменение структуры и твёрдости поверхностных слоёв режущего инструмента, а это ведёт к потере его работоспособности. В свою очередь, обработанная поверхность изделия под воздействием избыточного тепла изменяет физико-механические свойства.

Всё это также предопределяет необходимость иметь сведения о температуре, при которой находится инструмент и обрабатываемое изделие, чтобы располагать возможностью заблаговременно формировать условия для разработки технологических и конструкторских приёмов, достаточных для получения качественной и надёжно работающей продукции. А так как уровень температуры, возникающей при резании, предопределяется, прежде всего, необходимым количеством работы резания, то предварительно должна решаться задача о выборе величины силы резания.

1.2. Математическая модель на основе экспериментального взвешивания силы P . В современной практике машиностроения необходимую величину силы резания вычисляют по эмпирическому уравнению типа

$$P = Cpt^x s^y v^n K_m, \quad (1)$$

сформированному на основе многократного взвешивания силы P при последовательном варьировании расширенного диапазона основных параметров резания [1]. Все выполняемые действия сводятся к тому, что назначают параметры резания t (глубина резания), s (подача инструмента), v (скорость резания) и другие условия резания, последовательно ведут пробные резы, каждый раз варьируя величины всех параметров, и для каждого варианта взвешивают силу P резания. Этим накапливают базу экспериментальных данных, достаточных для построения экспериментальных графиков, подбирают для этих графиков математические зависимости, на основании которых графоаналитически находят как безразмерные числовые величины коэффициентов Cp , характеризующих механическую прочность обрабатываемого материала, так и безразмерные величины x , y , n – показатели степени параметров резания t , s , v и K_m , соответственно. Здесь коэффициентом K_m учитывают влияние других параметров резания (материал резца, его стойкость, его геометрические размеры, непосредственно связанные со стружкообразованием).

Основные недостатки этого способа определения силы P резания:

а) очень большая трудоёмкость экспериментальных работ и последующего графоаналитического анализа результатов эксперимента по формированию расчётного уравнения (1) силы P ; в свою очередь, для последующего вычисления силы P выбор таблично представленных коэффициентов и показателей степени также оказывается очень трудоёмким;

б) получаемое расчётное уравнение (1) не имеет физического смысла и, соответственно, исключена возможность оценивать и степень точности находимой величины силы P , и выбирать её оптимальную величину.

1.3. Математическая модель, учитывающая явление усадки стружки.

В то же время, многие исследователи, разрабатывая теорию резания, стремились установить математическую связь между силой P резания и коэффициентом K усадки стружки, представляющим собой отношение начальной длины l_0 срезаемого слоя к длине l_k , получающейся из этого слоя стружки [2]. Однако, традиционно придерживались существовавшего убеждения, что первопричиной усадки стружки являются касательные τ напряжения, возникающие в обрабатываемом материале непосредственно у плоскости сдвига. Поэтому брали именно это напряжение в качестве основы для вычисления силы, считая, что в плоскости сдвига она составляет $F = \tau t s / \sin \theta$. Здесь θ – угол наклона плоскости сдвига. При этом в получаемых уравнениях заранее известными были только s и t (по-

дача и глубина резания), а касательное напряжение τ и присутствующие в уравнениях углы надо определять на основе дополнительных исследований или косвенными приёмами и приближёнными функциональными зависимостями. Это приводит к тому, что в рассматриваемом случае расчёт силы резания оказывается очень приблизительным.

Исследования, выполненные в последующих периодах времени, показали, что для формирования математической модели, учитывающей явление усадки стружки, приемлемо исходить из условия, что сила P резания имеет составляющие: $P_{сж}$ – сжимающая сила и $P_{из}$ – сила, предопределяющая искривление срезаемой стружки [3].

Объективность существования составляющей $P_{сж}$ поясняется тем, что процесс резания сопровождается заметной усадкой стружки, то есть стружка оказывается короче длины того поверхностного участка, с которого срезана эта стружка. В свою очередь, наблюдающееся искривление стружки, уходящей из очага резания, является результатом действия боковой силы $P_{из}$.

С учетом существующих представлений о поведении срезаемого металла необходимыми исходными предпосылками для формирования математической модели резания являются:

1) весь объем пластической деформации срезаемого слоя находится в очаге резания;

2) объем V_0 металла, входящий в зону пластического деформирования, до и после деформации остается неизменным;

3) усадка стружки предопределяется исключительно пластической деформацией сжатия объема V_0 , находящегося в очаге резания;

4) усадка стружки является результатом действия силы $P_{сж}$, сжимающей очаг деформирования в направлении, перпендикулярном плоскости сдвига;

5) сопротивлением материала сжимающей силе $P_{сж}$ являются нормальные напряжения, возникающие в деформируемом объеме в процессе сжатия как реакция сжимающей силе;

6) показатели скорости резания, появляющейся температуры, возникновения внутреннего и внешнего трения автоматически учитываются итоговым эффектом усадки стружки.

То есть в основу математической модели положены совокупные последеформационные характеристики срезаемого слоя (стружки), которые обусловлены, кроме механических прочностных свойств обрабатываемого материала, рядом параметров резания, а именно: глубиной резания, подачей, скоростью резания, геометрией рабочей части режущего инструмента.

Совокупностью всех этих параметров предопределены коэффициенты внутреннего и внешнего трения, уровень возникающего нагрева и степень податливости обрабатываемого материала, выразившейся в числовом значении коэффициента усадки стружки.

Дополнительные условия для составления математической модели:

1) максимально возможные числовые значения нормальных напряжений в очаге резания близки к пределу прочности обрабатываемого материала, так как этот предел непосредственно предшествует нарушению сплошности этого материала;

2) предел прочности конструкционных материалов σ_b при нагреве для ряда металлов и сплавов, склонных к синеломкости, имеет некоторое повышение (по сравнению со значением этого предела прочности при обычных условиях: +20 °C) в диапазоне температуры, характерной для усредненных её значений в очаге резания.

В качестве примера зависимость предела прочности (σ_b) от температуры (°C) для ряда конструкционных материалов, представлена таблицей, составленной по справочным данным Г.И. Погодина-Алексеева (см. «Справочник по машиностроительным материалам», т. 1, Сталь).

стали	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	450 °C	500 °C
08	318	306	403	385	280	243	201
15	336	339	385	392	307	269	211
25	502	508	570	550	476	404	337
30	568	522	632	675	632	—	443
35	545	516	590	592	512	429	365
40	505	—	510	500	—	—	290
45	639	605	702	728	573	489	383

Формирование модели. То обстоятельство, что работа силы $P_{из}$, затрачиваемая на искривление стружки, значительно меньше работы, которую затрачивает сила $P_{сж}$ на усадку стружки, дает основание считать силу $P_{сж}$ главной составляющей силы резания.

В каждый момент действия сжимающей силы $P_{сж}$ истинная относительная деформация ε сжатия составляет $d\varepsilon = dl / l$, где l – текущая высота деформируемого объема, расположенного над плоскостью сдвига.

После интегрирования в пределах от l_0 (начальная высота деформируемого объема) до l_k (конечная высота деформируемого объема) величина истинной относительной деформации составляет

$$\varepsilon = \ln(l_0 / l_k) \quad (2)$$

Так как отношение высот l_0 и l_k представляет собой коэффициент усадки $K = l_0 / l_k$, то из уравнения (2) следует, что $K = e^\varepsilon$, где e – основание натурального логарифма. То есть, связь между истинной относительной степенью деформации и коэффициентом K усадки стружки имеет вид

$$K = e^\varepsilon. \quad (3)$$

Что касается понятия о степени деформации, то в инженерной практике обычно имеют в виду следующее:

а) *абсолютная* деформация представляет собой величину, например, фактического удлинения (или укорочения) Δl исследуемого размера l_0 ;

б) *относительная* деформация δ – это отношение в виде

$$\delta = \Delta l / l_0; \quad (4)$$

здесь абсолютную деформацию Δl делят на один и тот же начальный размер l_0 ;

в) *истинная относительная* деформация ε , исчисляемая в каждый текущий момент времени по уравнению $d\varepsilon = dl / l$; здесь абсолютную деформацию dl делят на текущее значение размера l .

Связь между относительной δ и истинной относительной ε деформациями имеет вид

$$\varepsilon = \ln(1 + \delta). \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что результат расчета по уравнениям (2) и (4) практически одинаков только в случаях, когда $\delta \leq 0,1$. Кроме того, предпочтение при использовании истинной относительной степени деформации ε обусловлено тем, что она обладает свойством *аддитивности* (это свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин его частей при *любой* разбивке объекта на части). В свою очередь, истинные относительные деформации, предопределяемые изменениями линейных размеров, при растяжении и сжатии являются эквивалентными по упрочняющему эффекту.

Применительно к анализу величины сжимающей силы $P_{сж}$ значимость величины ε возрастает и за счёт того, что эта величина непосредственно связана с коэффициентом усадки стружки, а именно: по уравнению (3). Этим предопределена необходимость стандартными испытаниями получаемую кривую упрочнения в координатах «напряжение σ – относительная деформация δ » перестраивать в координаты «напряжение σ – истинная относительная деформация ε ». Тогда деформирующая сила сжатия $P_{сж}$, являющаяся основной составляющей силы P резания, равна

$$P_{сж} = \sigma_t V_0 / l_k, \quad (6)$$

где σ_t – предел прочности обрабатываемого материала при температуре очага резания (по примеру сведений, аналогичных представленным в таблице).

Объем V_0 материала, подлежащий при резании пластическому деформированию, составляет $V_0 = t S l_0$, где t и S – глубина резания и подача. Соответственно, уравнение (6) получает вид

$$P_{сж} = \sigma_t t S K. \quad (7)$$

С учетом угла θ , координирующего положение плоскости сдвига, проекция вектора $P_{сж}$ предопределяет силу P резания:

$$P = P_{сж} / \sin\theta = \sigma_t t S K / \sin\theta. \quad (8)$$

На основании геометрических построений И.А. Тиме установил связь между коэффициентом K усадки стружки, углом наклона плоскости сдвига θ и передним углом γ реза:

$$K = \cos(\theta - \gamma) / \sin\theta \quad (9)$$

То, что угол γ известен, а $K = e^\varepsilon$, даёт возможность вычислять угол θ , а затем и силу резания P – по

уравнению (8) [3]. При этом, наблюдающийся у ряда металлов всплеск числового значения предела прочности σ_b (по аналогии со сталями, указанными в таблице) учтён введением поправки типа $\sigma_{\tau}=(1,00\div 1,11)\sigma_b$, где σ_b – предел прочности материалов при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Достоинством расчётных уравнений (6), (7) и (8) является то, что для предварительного расчёта всегда известны параметры t , S , γ . Величину угла θ всегда есть возможность уточнить с помощью уравнений (3) и (9).

Положительным эффектом представленного способа является повышение точности расчёта и существенный рост производительности за счёт резкого сокращения технико-экономических затрат на его реализацию.

Воронежский государственный технический университет
АО Концерн «Созвездие», г. Воронеж

EFFORTS ARE UNDERWAY TO FIND OPTIMAL FORCE FOR DEFORMATION

I.A. Checheta, A.E. Checheta

The standard test of stretching has given the chance to calculate the force to cutting metal rapidly and exactly

Key words: calculating, cutting metal, standard test

Литература

1. Технология конструкционных материалов. Под ред. А.М. Дальского, изд. 2-е. – М.: Машиностроение. 1985. – 448 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твёрдых тел. – М.: Изд-во иностр. лит. 1954. – 648 с.
3. Патент RU 2 538 068 C2. Способ определения силы резания / И.А. Чечета, А.Е. Чечета. Заявка 201212440 от 13.06.2012. Опублик. 10.01.2015. Бюл. № 1.
Воронежский государственный технический университет

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДАННЫХ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ**А.К. Погодаев, П.В. Сараев**

Статья посвящена проблеме идентификации нейро-нечетких моделей структуры ANFIS. Исследуется применение алгоритма параметрической идентификации нейро-нечетких моделей на основе псевдообращения и линейно-нелинейного соотношения. Анализируются вопросы построения моделей для обучающих множеств, содержащих большой объем данных

Ключевые слова: нейро-нечеткое моделирование, нейроструктурные модели, большие объемы данных

В последнее время актуальной задачей является обработка и анализ больших объемов данных. Появившийся в работе [1] термин «большие данные» («Big Data») может быть определен как «огромный объем неструктурированных данных» [1, 2]. Это понятие является объектом многих научных исследований и разработок в области информационных технологий. Существенными особенностями понятия «большие данные» являются их неструктурированный, часто очень разреженный характер.

В данной работе в отличие от «больших данных» речь идет о структурированных данных, представимых в табличном виде, где строки соответствуют экспериментам, а столбцы – входным и выходным переменным. В случае, когда такие таблицы содержат от нескольких тысяч до сотен тысяч строк, а также описываются десятками или сотнями атрибутов, часто будут занимать не меньший объем данных, чем «большие данные». Такие объемы информации получаются в ходе деятельности крупных промышленных предприятиях, сложных технических систем, на предприятиях телекоммуникационной отрасли [3].

Важной является задача обнаружения сложных, как правило, нелинейных, зависимостей в таких объемах данных. В последние годы эти вопросы обычно рассматриваются в разделах Data Mining, Knowledge Discovery in Databases. Более обще подобные задачи относятся к разделу анализа данных [4]. В широком смысле поиск зависимостей на основе входной и выходной информации, представленной во множестве данных, можно отнести к разделу математического моделирования, а именно – к идентификации математических моделей.

Одним из эффективных методов математического моделирования является моделирова-

ние с использованием нейронных сетей прямого распространения [5]. В построении таких моделей задача структурной идентификации является частично решенной. Развитием нейронных сетей прямого распространения является подход на основе нейроструктурных моделей (НСМ) [6, 7]. Это позволяет применять большинство методов работы и идентификации нейронных сетей на класс НСМ без существенных изменений. При этом может быть эффективно учтена структура конкретного класса моделей из НСМ.

НСМ представляет совокупность связанных между собой нейроноподобных элементов (НПЭ). НПЭ – обобщение понятия искусственного нейрона. Как и нейрон, НПЭ в общем случае преобразует векторный вход в скалярный выход. В нейроне сначала производится взвешенное суммирование входных сигналов, а затем применяется некоторая, как правило, нелинейная, функция активации. НПЭ в отличие от обычного нейрона может реализовывать произвольную зависимость.

НСМ содержат не только нейронные сети прямого распространения, но и нейронные сети с неклассическими функциями активации, вероятностные нейронные сети, нейронные сети с радиальными базисными функциями, нечеткие модели Такаги-Суджено с дифференцируемыми операциями логического вывода, нейро-нечеткие модели типа ANFIS. Цель данной работы – построение алгоритмов идентификации специального класса нейро-нечетких моделей структуры ANFIS, учитывающих специфику задачи обучения.

Модели структуры ANFIS – один из способов комбинирования нечеткой логики [8-11] и НСПР [8, 12]. Она относится к классу гибридных нейро-нечетких систем (Neuro-Fuzzy Systems, NFS). Гибридные модели позволяют скомбинировать достоинства нечетких систем логического вывода с достоинствами НСПР. особенностью нейро-нечетких систем ANFIS является то, что они могут быть рассмотрены

как системы нечетких правил и как нейронные сети, способные к обучению. Таким образом, при построении модели могут использоваться как объективные, так и экспертные знания о структуре и характере правил вывода. Гибридные модели также легко могут быть интерпретированы как модели представления нечетких знаний.

Рассмотрим способ конструирования нейро-нечетких архитектур ANFIS на примере систем, функционально эквивалентных системам Такаги-Суджено. Структура ANFIS имеет следующий общий вид:

R_1 : если x_1 есть $A_{11}(\{a_{11}\})$ и ... и если x_n есть $A_{1n}(\{a_{1n}\})$, то $y_1 = f_1(x_1, \dots, x_n; \{b_1\})$,

R_2 : если x_2 есть $A_{21}(\{a_{21}\})$ и ... и если x_n есть $A_{2n}(\{a_{2n}\})$, то $y_2 = f_2(x_1, \dots, x_n; \{b_2\})$,

...

R_m : если x_m есть $A_{m1}(\{a_{m1}\})$ и ... и если x_n есть $A_{mn}(\{a_{mn}\})$, то $y_m = f_m(x_1, \dots, x_n; \{b_m\})$,

где $x_j \in R$, $j=1, \dots, n$, – входы системы; $y_i \in R$, $i=1, \dots, m$, – индивидуальные выходы правил; A_{ij} – функции принадлежности, зависящие от параметров $\{a_{ij}\}$; f_i – функции, зависящие от входов системы и параметров $\{b_i\}$. Модели структуры ANFIS представляют комбинацию лингвистической и аналитической моделей. Входные величины и выход являются вещественными значениями. Наиболее часто аналитические функции в заключениях правил имеют линейную по параметрам структуру:

$$y_m = b_{m0} + b_{m1}x_1 + b_{m2}x_2 + \dots + b_{mn}x_n.$$

Система ANFIS реализует функцию вида

$$y = \sum_{i=1}^m \beta_i y_i = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i y_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^n A_{ij}(x_j) \right) y_i}{\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^n A_{ij}(x_j) \right)},$$

где $A_{ij}(x_j)$ – значение функции принадлежности A_{ij} в точке x_j .

Модель ANFIS может быть представлена в виде пятислойной нейроразной структур. Данная система может быть реализована в виде нейроразной структуры из пяти слоев [12].

В первом слое выходы НПЭ представляют собой значения степеней принадлежности для входных сигналов. Обычно в НПЭ этого слоя

применяются гауссовские функции принадлежности

$$A_{ij}(x) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - a_{ij}}{b_{ij}} \right)^2 \right],$$

где a_{ij} и b_{ij} – некоторые параметр. Конкретные значения указанных выше параметров определяются на основе множества данных в процессе обучения. Вместо гауссовской могут быть использованы другие непрерывные функции.

Во втором слое модели ANFIS НПЭ вычисляют уровни истинности (firing levels) предпосылок правил:

$$\alpha_i = \bigwedge_{j=1}^n A_{ij}(x_j),$$

где в качестве $\bigwedge$ может применяться любая дифференцируемая t-норма [8]. Обычно используется t-норма вида

$$\alpha_i = \prod_{j=1}^n A_{ij}(x_j).$$

В НПЭ третьего слоя производится нормализация уровней истинности предпосылок каждого правила:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\prod_{j=1}^n A_{ij}(x_j)}.$$

Значения этого слоя показывают относительную значимость уровней истинностей правил.

НПЭ четвертого слоя вычисляют произведение нормализованных значений уровней истинности на соответствующие выходы правил:

$$y_i = \beta_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Таким образом, выходное значение i -го правила вычисляется в соответствии с его «весом» в итоговый результат.

В НПЭ последнего, пятого, слоя, вычисляется адаптивное суммирование выходов НПЭ четвертого слоя:

$$y = \sum_{i=1}^m y_i.$$

Характер вычислений носит также суперпозиционный характер. Если функции в заключениях правил являются линейными, структура ANFIS может быть также охарактеризована как линейно-нелинейная по параметрам [13].

Параметры модели могут быть определены на основе обучающего множества входных и выходных данных $\{x_i, y_i\}$, $i=1, \dots, k$, с помощью методов локальной оптимизации, использующих информацию, содержащуюся в градиенте функции ошибки по вектору параметров модели. В данном случае существенно учитывается суперпозиционный характер моделей [13].

Для обучения нейро-нечетких систем ANFIS могут быть применены и более эффективные методы, использующие линейно-нелинейную по параметрам структуру в функциях заключений [14, 15]. Далее будет рассматриваться ситуация, когда функции f_i в заключениях правил являются линейными относительно своих параметров, однако, не обязательно линейными относительно входных переменных:

$$f_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} \psi_{ij}(x_1, \dots, x_n),$$

где ψ_{ij} – базисные функции. Тогда нейро-нечеткая модель ANFIS реализует функцию вида

$$\begin{aligned} y &= \sum_{i=1}^m \beta_i(p) \sum_{j=1}^n c_{ij} \psi_{ij}(x_1, \dots, x_n) = \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \beta_i(p) \psi_{ij}(x_1, \dots, x_n), \end{aligned}$$

где p – вектор, состоящий из всех параметров функций принадлежности A_{ij} . Последнее выражение можно переписать в виде

$$\begin{aligned} y &= y(x_1, \dots, x_n; p, c) = \\ &= \sum_{q=1}^{mn} c_q \phi_q(x_1, \dots, x_n; p), \end{aligned}$$

где c_q и

$$\phi_q(x_1, \dots, x_n; p) = \beta_i(p) \psi_{ij}(x_1, \dots, x_n)$$

получаются при соответствующих значениях индексов i и j ; c – вектор, который состоит из параметров c_{ij} . Требуемые идентификации в процессе обучения параметры модели структуры ANFIS условно могут быть разделены на два вектора: линейно входящие параметрами c и нелинейно входящие p . Данная модель будет иметь не только суперпозиционный, но и линейно-нелинейный по параметрам характер. Для обучения HCM может применяться подход, основанный на использовании линейно-нелинейного соотношения [14, 15].

Из значений базисных функций ϕ_q на обучающем множестве формируется матрица $\Phi(P) \in R^{k \times (mn)}$, которая позволяет записать соотношение

$$c^* = \Phi^+(p^*) \tilde{y},$$

где Φ^+ – псевдообратная к Φ матрица; (p^*, c^*) – оптимальные значения параметров HCM, $\tilde{y} \in R^k$ – вектор указаний учителя. Данное выражение называется линейно-нелинейным соотношением (ЛНС). С его помощью можно вычислить оптимальные значения линейно вхо-

дящих в модель параметров c при фиксированных значениях нелинейно входящих параметров p . С учетом ЛНС задачу обучения можно представить в виде минимизации функционала качества, зависящего только от вектор нелинейно входящих весов p :

$$Q(a) = \frac{1}{2} \|\Phi(p) \Phi^+(p) \tilde{y} - \tilde{y}\|^2,$$

где $\|\cdot\|$ – евклидова норма вектора. Для данного функционала может быть рассчитан градиент по вектору параметров p . Далее в обучении могут применяться различные методы оптимизации. В частности, алгоритм Гаусса-Ньютона с псевдообращением, может быть представлен в форме:

$$p^{(l+1)} = p^{(l)} + Q^+(p^{(l)}) L(p^{(l)}) \tilde{y},$$

где

$$L(p^{(l)}) = I - \Phi(p^{(l)}) \Phi^+(p^{(l)}),$$

$$\begin{aligned} Q(p^{(l)}) &= L(a^{(l)}) \frac{\partial \Phi(p^{(l)})}{\partial p^T} (I \otimes \Phi^+(p^{(l)}) \tilde{y}) + \\ &+ \Phi^{+T}(p^{(l)}) \cdot \frac{\partial \Phi^T(p^{(l)})}{\partial p^T} \cdot (I \otimes L(p^{(l)}) \tilde{y}), \end{aligned}$$

где I – единичные матрицы соответствующих порядков, l – номер итерации, $\otimes$ – тензорное произведение матриц.

Особенность данного подхода заключается в необходимости итерационной оптимизации только параметров p , которые входят в модель нелинейно. Линейные параметры c находятся с помощью ЛНС. Предлагаемый метод может быть применен для обучения многовыходных систем ANFIS, а также в случае, когда функции ψ_{ij} тоже нелинейно зависят от некоторых параметров c .

Исследование эффективности алгоритмов обучения HCM [15] показало, что высокая скорость работы достигается при небольших объемах обучающих множеств. Это связано с достаточной вычислительной сложностью алгоритмов и ее возрастанию при увеличении объемов данных в обучающем множестве.

Для данных большого объема возможен подход, заключающийся в последовательной кластеризации исходного обучающего множества. При последовательном обучении обучающее множество разбивается на малое количество кластеров. Далее количество кластеров увеличивается, и производится уточнение модели. Эффективность обучения нейронных сетей на основе кластеризации методом k -средних исследована в [16]. Выбор репрезентативных подвыборок производился с помощью критерия Хотеллинга, позволяющего проверять

гипотезу об однородности двух многомерных выборок.

Предложенный подход в данной работе метод обучения на основе ЛНС может эффективно применяться для нейро-нечетких моделей ANFIS на начальных этапах, когда объем выборки становится малым. В этом случае будут получены достаточно грубые модели и их последовательного уточнения [17-19].

Заключение

В работе было описано применение метода обучения нейро-нечетких моделей структуры ANFIS на основе подхода, учитывающего квадратичный характер функционала качества обучения и ЛНС. Предложено применение метода обучения при построении моделей для данных большого объема при последовательной кластеризации исходных данных для эффективного построения грубых моделей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта N 14-47-03611-р_центр_а.

Литература

1. Новиков Д.А. Большие данные: от Браге к Ньютону [Текст] / Д.А. Новиков Д.А. // Проблемы управления, 2013.– Вып. 6.– С. 15-23.
2. Napoletani, D. Is Big Data Enough? A Reflection on the Changing Role of Mathematics in Applications [Text] / D. Napoletani, M. Panza, D.C. Struppa // Notices of the AMS, 2014.– Vol. 61.– N 5.– P. 485-490.
3. Liu, B. Managing large collections of data mining models [Text] / Liu B., Tuzhilin A. // Communications of the ACM, 2008.– V. 51.– № 2.– P. 85-89.
4. Загоруйко, Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний [Текст] / Н.Г. Загоруйко.- Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999.- 270 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. М.Хайкин. – М.:Вильямс, 2008.– 1103 с.
6. Сараев, П.В. Развитие нейросетевого моделирования сложных систем на основе нейроструктурного подхода [Текст] / П.В. Сараев // Вести ВУЗов Черноземья. - 2012.– № 2(28).– С.30-35.
7. Погодаев, А.К. Нейроструктурное моделирование: некоторые результаты и направления развития Липецкий государственный технический университет [Текст] / А.К. Погодаев, С.Л. Блюмин, П.В.Сараев // Вести ВУЗов Черноземья, 2012.– № 4(30).– С.30-37.
8. Fuller R. Neural Fuzzy Systems.– [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL : <http://www.abo.fi/~rfuller/robert.html>.
9. Применение эволюционного алгоритма для идентификации нечеткой модели [Текст] / Ю.И. Кудинов, Н.А. Архипов и др. // Системы управления и информационные технологии. - 2004.- Т. 14.- № 2.- С. 15-18.
10. Кудинов, Ю.И. Построение адаптивного нечеткого комбинированного регулятора в многосвязных системах [Текст] / Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю. // Проблемы управления. - 2006.– № 5.– С. 12-18.
11. Блюмин, С.Л. Нечеткие сети Петри как окрестностные системы [Текст] / С.Л. Блюмин, А.М. Шмырин, И.А. Седых // Системы управления и информационные технологии. - 2008.– Т. 33.– № 3.2.– С. 233-238.
12. Блюмин, С.Л. Суперпозиционная регрессия С.Л. Блюмин, А.К. Погодаев // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 1995.– Т. 35.– № 10.– С. 1576-1581.
13. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения [Текст]: монография / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова, П.В. Сараев, И.В. Черпаков Монография.– Липецк: ЛЭГИ, 2002.– 111 с.
14. Сараев П.В. Использование псевдообращения в задачах обучения искусственных нейронных сетей – [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/029.pdf> // Электронный журнал "Исследовано в России".- 2001.– № 29.– С. 308-317
15. Сараев П.В. Обучение нейронных сетей прямого распространения на основе декомпозиции вектора весов и псевдообращения [Текст] / П.В. Сараев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение - 2010.– № 1.– С. 65-74.
16. Кластеризация обучающих выборок большого объема для обучения нейронных сетей на репрезентативных подвыборках [Текст] / М.Г. Журавлёва, П.В. Сараев, О.А. Назаркин, П.А. Домашнев // Вести ВУЗов Черноземья. - 2015.– №1.– С. 54-61.
17. Podval'ny, S.L. Intelligent modeling systems: design principles [Text] / S.L. Podval'ny, T.M. Ledeneva // Automation and Remote Control. - 2013. V. 74. - № 7. – P. 1201-1210.
18. Barabanov, A.V. Structural modeling of continuous multi-center polymerization processes [Text] / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. - 2012. T. 73. - № 7. C. 1265-1268.
19. Скользящее усреднение на основе минимизации невязки в формуле Эйлера-Маклорена [Текст] / Ю.Я. Агранович, Н.В. Концевая, С.Л. Подвальный, В.Л. Хацкевич // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 12.1. - С. 4-6.

IDENTIFICATION OF NEURO-FUZZY MODELS FOR DATA OF LARGE AMOUNTS

A. K. Pogodaev, P.V. Saraev

The article is devoted to problem of identification of neuro-fuzzy models with ANFIS structure. Application of the algorithm based on linear-nonlinear correlation for parameters identification of neuro-fuzzy models is investigated. Issues of models building for training datasets of large amounts are analyzed

Key words: neuro-fuzzy modeling, neurostructural models, data of large amounts

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ 1С:PDM И APPIUS-ТЕХНОЛОГИЯ

А.В. Барабанов, А.М. Нужный, Э.Е. Прудников, С.А. Коваленко

В статье рассмотрены возможные варианты интеграции системы 1С:PDM и Appius-Технология

Ключевые слова: 1С:PDM, интеграция, платформа 1С:Предприятие, COM-соединение

Система 1С:PDM Управление инженерными данными является совместным решением компании «1С» и «АППИУС», предназначенная для повышения эффективности процесса подготовки производства за счет создания согласованной структуры данных, когда все участники работают в единой информационной среде.

В свою очередь Appius-Технология позволяет автоматизировать процесс технологической подготовки производства. Данные подготовленные в Appius-Технология применяются для дальнейшей обработки в системах ERP. Система 1С:PDM и Appius-Технология часто применяются в связке.

Система 1С:PDM и Appius-Технология разработаны на единой платформе 1С:Предприятие 8, тем самым упрощая способы интеграции, за счет использования общих для двух систем механизмов. Основными такими механизмами являются:

- планы обмена;
- конвертация данных;
- COM-соединение и др.

План обмена применяется для передачи данных по узлам. В качестве узлов (участников обмена) выступают информационных базы 1С:Предприятие 8, 1С:Предприятие 7.7 или другие системы, разработанные не на платформе 1С:Предприятие [1].

В одной конфигурации могут использоваться несколько планов обмена. В системе 1С:PDM, по умолчанию, используется три плана обмена, которые представлены на рис. 1.

При настройке плана обмена требуется настроить состав регистрируемых объектов конфигурации. После чего разрабатываемый план обмена будет хранить информацию об изменениях пользователями в советующих объектах. Например, пользователь отредактировал документ, который регистрируется в плане обмена, после чего система автоматически запомнит какой документ был

отредактирован и запомнит его в списке на выгрузку данных.

При выгрузке данных добавляется такое понятие как номер сообщения. Сверяя номера сообщений отправленных и полученных сообщений план обмена понимает, какие данные требуется выгружать.

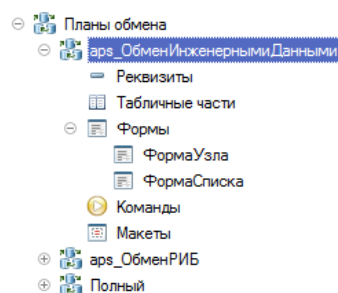


Рис. 1. Планы обмена системы 1С:PDM

Система регистрирует изменения согласно плану обмена (с учетом настроек регистрации), при обмене в информационную систему приемник план обмена формирует из зарегистрированных объектов одно так называемое сообщение, которому присваивает уникальный номер. Чаще всего номеру сообщения соответствует номер выгрузки по порядку.

После выгрузки данных информационная система приёмник (Appius-Технология) пытается обработать сообщение и загрузить данные. Если данный процесс прошел без ошибок или сбоев, то информационная система приемник запоминает номер сообщения, который обработал и в ответ информационной базе источнику посылает отчет о загрузке, в котором сообщает номер данного загруженного сообщения. Если загрузка не удалась или прошла с ошибками, то в качестве ответа отсылается номер сообщения последней удачной загрузки.

План обмена базы источника, получив сообщение о загрузке (номер удачно загруженного сообщения), очищает всю историю регистрации по данному сообщению. Т.е. в следующий раз данное сообщение выгружаться не будет. В случае если вернулся номер не отправленного сообщения (в случае сбоя загрузки) система историю регистрации не очищает. Соответственно, если через время будет запущен обмен, то система попытает еще раз отправить это же сообщение.

Барабанов Александр Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: bvf@list.ru

Нужный Александр Михайлович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: nam14@mail.ru

Прудников Эдуард Евгеньевич – ВГТУ, магистрант, e-mail: e.prudnikov@2drt.ru

Коваленко Сергей Александрович – ВГТУ, магистрант, e-mail: sergpc@yandex.ru

Механизм планов обмена удобно использовать, когда требуется выгружать только новые или измененные объекты [3].

При большом объеме информационной базы использование планов обмена увеличит производительность (скорость) обмена, за счет выгрузки только нужных объектов. Т.е. одни и те же данные не будут выгружаться каждый раз.

Следующим механизмом, который можно использовать для обмена между 1С:PDM и Appius-Технология является конвертация данных.

Конвертация данных – это конфигурация на базе платформы 1С:Предприятие, разработанная компанией «1С» для создания правил выгрузки и загрузки данных для различных конфигураций.

Конвертация данных позволяет анализировать и создавать правила обмена как для конфигураций схожих по структуре, так и для кардинально отличающихся друг от друга конфигураций по структуре и метаданным. При работе с конвертацией данных разработчику требуется сопоставить каждый объект метаданных из конфигурации источника с объектами конфигурации приемника, после чего описать правила выгрузки данной связки.

Для упрощения построения правил существуют специальные помощники, которые в автоматическом режиме по определенным правилам сопоставляет объекты конфигураций, а разработчику остается только проверить правильность и в случае необходимости отредактировать сопоставление.

Большим плюсом данного механизма является возможность использования встроенного языка для программного переопределения связей объектов. Т.е. разработчик, сопоставив объект метаданных источника с каким либо объектом метаданных приемника, может с помощью программирования переопределить поведение связки. Переопределить можно как момент выгрузки данных, так и момент загрузки данных. Данная возможность достигается за счет использования системой различных обработчиков событий.

При работе с конвертацией данных требуется оперировать некоторыми специфическими понятиями, такими как ПКО или ПВД.

ПКО – это правило конвертации объекта, т.е. правило описывающее связь между двумя объектами. ПВД – это правило выгрузки данных, т.е. правило по которому будет выгружаться этот объект, используя описанный в нем ПКО [4]. На рисунке 2 представлена схема работы обмена при использовании конвертации данных.

После создания правил обмена в базе источнике, используя специальную обработку, выгружаются данные в формате xml по разработанным правилам. После чего, используя аналогичную обработку в базе приемнике, считывается файл данных (.xml) и загружаются данные.

Механизм конвертации данных удобно использовать при настройке обменов между конфигурациями, отличающимися по структуре метаданных. Использование данного механизма требует от разработчика определенного уровня знаний. В то время как планы обмена может настроить разработчик с начальными знаниями конфигурирования в системе 1С:Предприятие, то для написания правил используя конвертацию данных требуется более глубокие знания в данной конфигурации и конфигурировании.

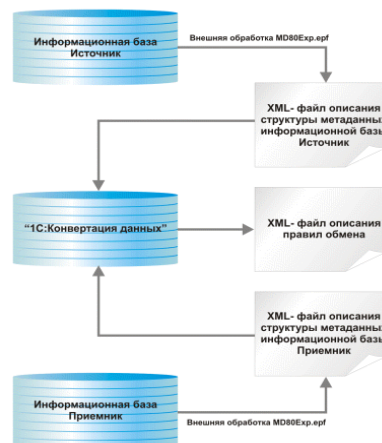


Рис. 2. Схема работы с конвертацией данных

Последним механизмом, который будет рассмотрен в данной статье, является обмен данными с использованием COM-объекта. COM-объект - это технология, разработанная компанией Microsoft 1993 году для упрощения интеграции приложений (Component Object Model – объектная модель компонентов).

Разработка обмена ведется со стороны базы приемника. С помощью COM-объекта, посредством встроенного языка, описывается подключение к базе источнику и обработка данных из данной базы.

Работы с данными источника происходит напрямую, как будто пользователь подключился интерактивно и последовательно считывает данные, за исключением того, что интерактивная часть отсутствует и все происходит на уровне платформы [2]. Пример подключения к базе источнику представлен на рисунке 3. В данном примере рассмотрен вариант подключения к базе данных работающей в клиент-серверном варианте.

Работая с базой источником через COM разработчик напрямую может использовать примитивные типы данных:

- булево;
- строка;
- число;
- дата.

Все остальные типы, которые доступны в базе источнике имеют тип COM-объект. Чтобы идентифицировать остальные реквизиты в текущей базе нужно пользоваться поиском:

- по коду;
- по наименованию;
- по ИНН;
- по внутреннему идентификатору и др.

```
Сервер = "Карра";
БазаДанных = "Асс";
Пользователь = "Администратор";
Пароль = "123456";

V82 = Новый СОМОбъект("V82.ComConnector");

СтрокаПодключения = "srvr=" + СокрЛП(Сервер)
+ "; ref=" + СокрЛП(БазаДанных)
+ "; usr=" + СокрЛП(Пользователь)
+ "; pwd=" + СокрЛП(Пароль) + ";";

БазаИсточник = V82.Соект(СтрокаПодключения);
```

Рис. 3. Подключение к базе источнику с применением СОМ-технологий

Все СОМ-объекты обладают теми же свойствами и методами, которые доступны в текущей базе для аналогичных объектов [5]. Пример получения контрагента из соответствующего справочника базы источника представлен на рис. 4.

```
СсылкаНаКонтрагента =
БазаИсточник.Справочники.Контрагенты.НайтиПоРеквизиту("ИНН", ИНН)
```

Где, СсылкаНаКонтрагента – тип СОМ-объект.

Рис. 4. Получение данных контрагента из базы источника

Работая с СОМ-объектом, требуется помнить, что предопределенные реквизиты имеют только англоязычную транскрипцию, а обычные реквизиты – русскую транскрипцию.

Последним важным условием, которое требуется учитывать при разработке обмена через СОМ, является создание конструкторов. Конструкторы должны быть созданы через метод NewObject. Пример использования данного метода представлены на рис. 5.

Зная несколько простых правил работы с СОМ-объектами можно получать данные удаленной базы в on-line режиме.

```
СтрокаUID = БазаИсточник.ХМЛСтрока(СсылкаНаКонтрагента);
Запрос = БазаИсточник.НовыйОбъект("Запрос");
Запрос.УстановитьПараметр("UID",
БазаИсточник.НовыйОбъект("УникальныйИдентификатор", СтрокаUID));
Запрос.Текст = ".....";
```

Рис. 5. Использование метода NewObject

Рассмотренные в данной статье методы обмена для системы 1С:PDM и Appius-Технология позволяют разрабатывать различные по сложности

обмены. Разрабатываемые обмены могут работать как в одну сторону, так и в обе стороны [6-8].

В рассмотренных методах полностью задействуется функциональность системы 1С:Предприятие, при этом не требуется использование дополнительных внешних компонент или сторонних языков программирования.

Работа выполнена по договору № 1450/300-13 от 24 февраля между ОАО «Турбонасос» и ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы» (Постановление Правительства Российской Федерации №218 от 9.04.2010)

Литература

1. Гончаров, Д.И. Технологии интеграции «1С:Предприятия 8.2» [Текст] / Д.И. Гончаров, Е.Ю. Хрусталева. – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2011. – 358 с.
2. Барабанов, А.В. Разработка конфигурации учета корреспонденции на базе системы 1С:Предприятие 8 [Текст] / А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, Э.Е. Прудников // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 63–65.
3. Прудников, Э.Е. Разработка модуля администрирования для информационной базы 1С:Предприятие 8 [Текст] / Э.Е. Прудников, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова // Международная научная школа «Парадигма» Лято-2015. – 2015. – Т.2 – С. 238–243.
4. Разработка универсального модуля обмена технологическими данными для 1С:PDM [Текст] / В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, С.А. Коваленко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 54–56
5. Принципы построения системы интерактивного проектирования технологических процессов [Текст] / В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, А.Д. Поваляев, Н.И. Гребенникова, В.В. Сафронов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – № 5. – С. 64–66.
6. Barabanov, A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes [Text] / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. – 2012. – Т. 73. - № 7. С. 1265-1268.
7. Подвальный, С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. - Т. 9. – № 5-1. – С. 41-43.
8. Подвальный, С.Л. Особенности поисковой градиентной оптимизации сложных объектов с использованием сопряженных систем [Текст] / С.Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. – 2014. - Т. 56. – № 2. – С. 18-22.

Воронежский государственный технический университет

INTEGRATION SYSTEM 1С:PDM AND APPIUS- TECHNOLOGY

A.V. Barabanov, A.M. Nuzhnyy, E.E. Prudnikov, S.A. Kovalenko

The article describes possible options for integration of system 1С:PDM and Appius-Technology

Key words: 1С:PDM, integration, platform 1с:Enterprise , COM-connect

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д.В. Журавлёв, Ю. С. Балашов

Описана разработанная информационно-вычислительная система пятого поколения для регистрации и обработки показаний разнообразных датчиков, применяемых в различных областях науки и техники. Система представляет собой организационно-технический комплекс, который имеет возможность обеспечивать сбор, передачу, обработку, хранение, вывод и стратегический анализ данных. Проведен обзор разработанной информационно-вычислительной системы применительно к контролю дестабилизирующих факторов, возникающих в процессе движения железнодорожного подвижного состава

Ключевые слова: дистанционный контроль, информационно-вычислительная система, техносферная безопасность

Разработанная универсальная информационно-вычислительная система (ИВС) предназначена для регистрации в режиме реального времени показаний датчиков (концентрации газа, температуры, дыма, вибрации, биологических параметров живых организмов и др.), анализа показаний датчиков, определения граничных значений показаний, генерации и выдачи информационных сообщений о приближении показаний к граничным значениям или их превышении, отображения в структурированной форме всех полученных данных. Область применения системы ограничена лишь набором аналоговых и цифровых датчиков. Система способна отслеживать показания различных типов датчиков одновременно, например, следить за концентрацией углекислого газа в помещении, частотой пульса человека, атмосферным давлением и влажностью, передавая параметры на удаленный сервер. Также ИВС позволяет формировать управляющие сигналы для исполнительных устройств: включить вентиляцию, управлять освещением и т.д. Отличительной особенностью данной системы является то, что ее архитектура строится на стандартных персональных вычислительных средствах, таких как смартфон, коммуникатор, планшетный ПК или нетбук.

Рассмотрим пример реализации разработанной ИВС для контроля и анализа дестабилизирующих факторов в подвижном железнодорожном составе.

Безопасность железнодорожного подвижного состава – состояние состава, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан,

имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, а также окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений [1]. Поэтому на железнодорожном подвижном составе должен быть обеспечен контроль параметров следующих дестабилизирующих факторов: климатических (температура, влажность, атмосферное давление и т.д.); механических (вибрации, удары, линейные ускорения, акустические шумы, виброакустический контроль буксовых узлов колесных пар); биологических (микроорганизмы и плесневые грибы, насекомые и т.д.); электромагнитных (электромагнитная совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования). Также должны быть обеспечены химическая, электрическая, пожарная, взрыво-, термо- безопасности.

Для одновременного контроля и анализа большого количества параметров дестабилизирующих факторов в подвижном составе существует необходимость создания единой ИВС, обеспечивающей автоматизированный сбор, передачу, обработку, хранение и предоставление оператору информации о состоянии железнодорожного подвижного состава. Разработанная ИВС является программируемым комплексом, с возможностью реализации программных алгоритмов регистрации и обработки показаний датчиков, алгоритмов и протоколов обмена по последовательным интерфейсам и радиоканалу, и позволяет: работать практически с любыми внешними датчиками, в том числе интеллектуальными, имеющими собственные встроенные алгоритмы снятия и обработки показаний; производить гибкую подстройку диапазона чувствительности системы отдельно для каждого входного канала регистрации показаний к электрическим характеристикам датчика; поддержи-

вать программную коррекцию погрешности датчиков.

Структурная схема трехуровневой дистанционной ИВС представлена на рис. 1.

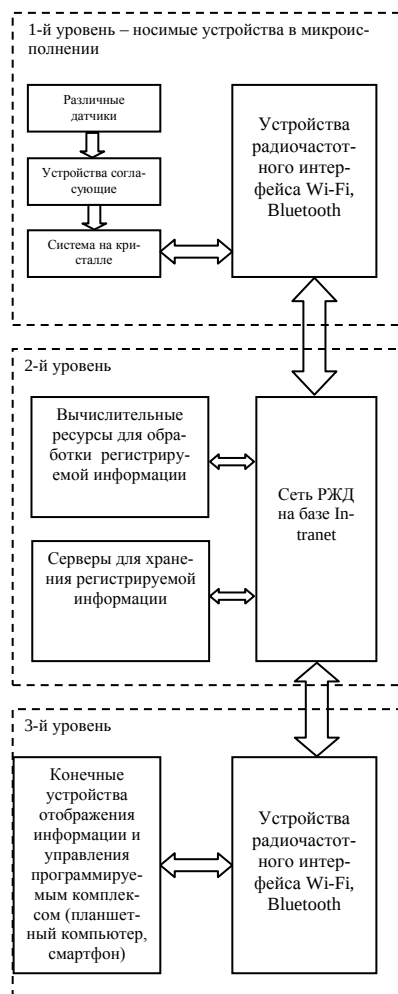


Рис. 1. Трехуровневая дистанционная ИВС

Основу ИВС составляют устройства 1-го уровня. Структурная схема устройств 1-го уровня представлена на рис. 2. В структуру устройств 1-го уровня входят следующие основные блоки:

1. Система на кристалле;
 - 1.1. процессорное ядро, логика управления и принятия решений;
 - 1.2. память программ;
 - 1.3. память данных;
 - 1.4. АЦП;
 - 1.5. блок цифровых компараторов;
 - 1.6. модули приема/передачи данных;
 - 1.7. блок ШИМ;
 - 1.8. модуль высокоскоростного ввода/вывода;
2. Блок усиления/нормализации уровней сигналов аналоговых датчиков;

3. Цифровые интерфейсы захвата данных с интеллектуальных датчиков;
4. Модуль внешних интерфейсов, поддерживающий различные стандарты обмена данными.

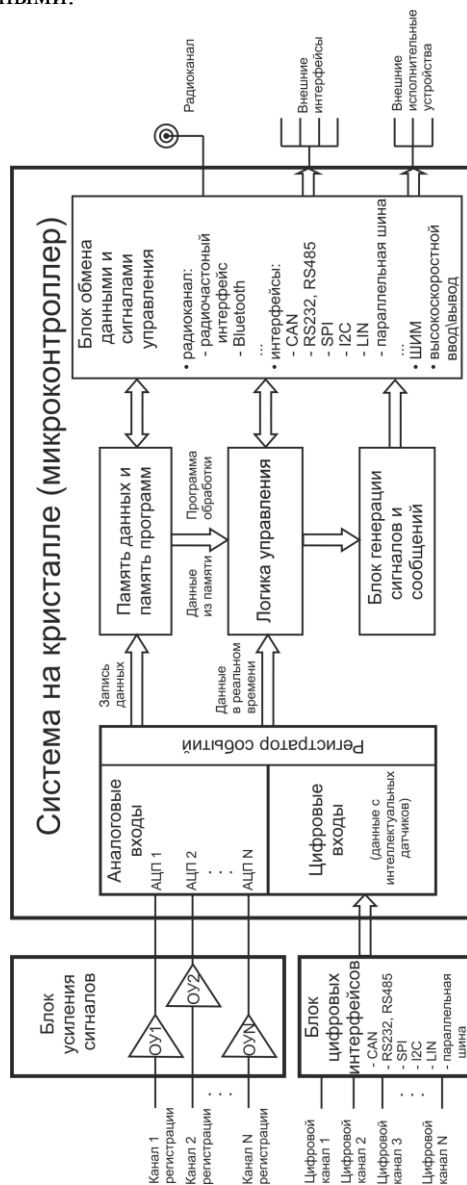


Рис. 2. Структурная схема устройств 1-го уровня

Основой системы является микропроцессорное ядро, выполняющее программу, которая содержится во встроенной памяти в системе на кристалле или во внешней памяти. Программа может быть изменена по желанию пользователя под конкретные задачи (обработка показаний датчиков дыма, тахометрических датчиков, датчиков пульса и др.).

Система принимает решения исходя из показаний датчиков, которые могут быть подключены по двум типам интерфейсов: аналоговому и цифровому.

Аналоговый интерфейс осуществляет захват показаний датчиков как непосредственно с чувствительных элементов датчиков без промежуточной обработки, так и после встроенных схем усиления датчиков (при наличии таковых), а также выполняет начальную обработку аналоговых сигналов (адаптацию к входным параметрам АЦП).

Для эффективной работы с датчиками, выходные сигналы которых могут находиться в широком диапазоне напряжений, от единиц микровольт до десятков вольт, в структуру системы входит блок усиления/нормализации аналоговых сигналов, в составе которого используется набор операционных усилителей с регулируемым коэффициентом усиления. Слабые сигналы усиливаются, а сильные сигналы ослабляются до рабочих уровней аналого-цифровых преобразователей, осуществляющих оцифровку сигналов датчиков.

Нормализованные сигналы датчиков поступают на входы АЦП, входящих в состав системы на кристалле, которые выполняют оцифровку их в масштабе реального времени.

Цифровой входной интерфейс может принимать предварительно обработанные данные с внешних датчиков и передавать оцифрованные сигналы на последующую обработку минуя тракт аналоговых преобразователей. Обмен цифровыми данными при этом может производиться по различным видам протоколов: CAN, RS232, RS485, SPI, I2C, LIN, параллельная шина и др. В этом случае в качестве внешних датчиков могут быть использованы интеллектуальные датчики или аналоговые датчики с внешними АЦП.

Регистратор событий, в структуру которого входят встроенные АЦП и цифровые интерфейсы приема данных, передает оцифрованные сигналы датчиков на последующую обработку, при этом данные могут быть помещены на хранение в кратковременную память.

Программа обработки показаний датчиков выполняется из внутренней памяти системы на кристалле и сравнивает текущие показания с пороговыми значениями, которые могут быть установлены предварительно и определены независимо для каждого типа или номера датчика. Количество ступеней программного компаратора ограничено фактически лишь разрядностью АЦП, что позволяет реализовать с помощью системы большое количество уровней формирования предупреждающих сообщений и индикаторов тревоги. Ресурсы системы поддерживают программную коррекцию показаний датчиков, учитывая технологически обуслов-

ленный разброс параметров датчиков, а также, в зависимости от требований потребителя, позволяют выполнять различные виды подстройки системы под показания тех или иных датчиков (температурную коррекцию, подстройку порога чувствительности и др.).

После формирования сигналов сообщений о приближении к порогу срабатывания, предупредительных сообщений или сигналов тревоги вступает в работу блок обмена данными и сигналами управления. Выработанные сигналы передаются выбранным способом на пульт управления, если таковой имеется в составе общего комплекса: по радиоканалу, последовательным (CAN, RS232, RS485, SPI, I2C, LIN и др.) или параллельному интерфейсу, либо на устройство предупреждения и тревоги, роль которого могут выполнять устройства аудио или видео оповещения, различные визуальные и звуковые анализаторы.

Блок обмена данными и сигналами управления поддерживает обмен данными или командами с любыми другими внешними устройствами по перечисленным выше протоколам, позволяет выполнять программирование системы в соответствие с требованиями потребителя, изменять программный код в зависимости от типа используемых датчиков, корректировать алгоритмы обработки сигналов датчиков и формирования ответных сигналов, что делает систему гибкой и универсальной, обеспечивает возможность использования ее для широкого спектра приложений и применений.

Ресурсы системы позволяют формировать управляющие сигналы для исполняющих механизмов (если таковые имеются), осуществлять их включение/отключение, регулировку режимов работы. Встроенный многоканальный модуль ШИМ и модуль высокоскоростного ввода/вывода могут использоваться для формирования управляющих последовательностей электрических двигателей. Пример использования формирователей – запуск двигателей приточной вентиляции в случае повышения концентрации углекислого газа в атмосфере рабочих помещений и изменение скорости притока в зависимости от концентрации газа.

Устройства 1-го уровня представляют собой малогабаритные приборы на основе стандартной системы на кристалле с блоками радиочастотного интерфейса. Устройства 1-го уровня имеют сверхнизкое потребление питания, что позволяет им непрерывно функционировать в течение длительного времени. Для реализации устройств 1-го уровня подходит микроконтроллер 1874BE96T [2]. Структурная схема системы

на кристалле для устройств 1-го уровня показана на рис. 3. Микросхема представляет собой СБИС однокристального 16-разрядного микроконвертера с тактовой частотой до 33 МГц, ОЗУ (2024×8) бит, расширенным ОЗУ (2048×8) бит, восемью 16-разрядными АЦП с возможностью дифференциального включения входов и блоком цифровых компараторов, 14-разрядным ЦАП, 3-канальным ШИМ, двумя последовательными портами ввода-вывода (UART0 и UART1), синхронным последовательным интерфейсом SPI, интерфейсом I2C, с внутренней памятью программ типа EEPROM (16K×16) бит, устройством высокоскоростного ввода-вывода, отладочным модулем и сторожевым таймером.

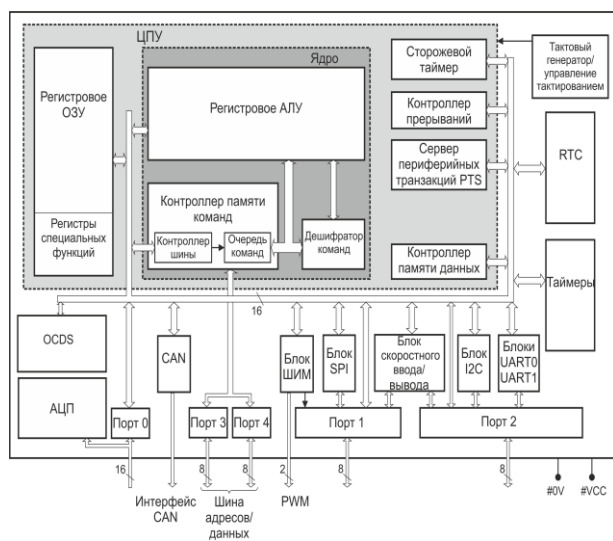


Рис. 3. Структурная схема системы на кристалле для устройств 1-го уровня

С помощью стандартных интерфейсов к системе на кристалле подключен радиомодуль Wi-Fi, работающий по протоколу IEEE 802.11. Микросхема STLC4550 (рис. 4), выпускаемая компанией STMicroelectronics, ориентирована на применение в мобильной электронике и отличается минимальным энергопотреблением. В одной микросхеме размером 8×8 мм находится весь радиочастотный тракт, синтезаторы частоты, высокоскоростные конвертеры, baseband-контроллер, управляющий процессом передачи данных через радиоканал. Функции взаимодействия с внешним процессором, а также шифрование данных выполняет интегрированный в схему MAC-контроллер с ядром ARM9. Для обмена данными между STLC4550 и внешним CPU используется последовательный интерфейс SPI либо SDIO [3].

Главной задачей обеспечения техносферной безопасности на железнодорожном транспорте является непрерывный контроль состоя-

ния подшипников буксовых узлов колесных пар вагонов. Только своевременное выявление неисправностей подшипников позволяет избежать схода колеса с рельса и как следствие всего состава. Проводят как виброакустический контроль буксовых узлов колесных пар [4], так и контроль температуры буксового узла [5].

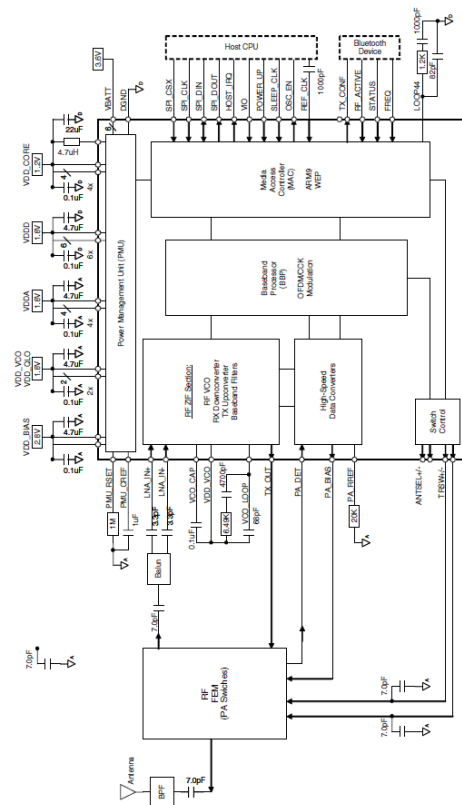


Рис. 4. Структурная схема чипсета Wi-Fi на базе микросхемы STLC4550

При этом устройства регистрации 1-го уровня закрепляются непосредственно на каждом буксовом узле состава. В качестве датчиков для устройств регистрации используют пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи ДН-3-М1 для контроля и анализа уровня вибрационных сигналов и пьезоэлектрический датчик для бесконтактного контроля температуры. Повышение температуры буксового узла колесной пары одновременно с ростом среднеквадратических значений виброускорений говорит о неисправности подшипника и необходимости его замены для предотвращения техносферной катастрофы.

С помощью сетевых процессоров BCM5352 от компании Broadcom и AR7100 от компании Atheros на подвижном составе создаются стандартные точки доступа для взаимодействия с уровнями 2 и 3 ИБС. Все регистраторы 1-го уровня по сети Wi-Fi в автоматическом режиме соединены с точками доступа.

Стандартная точка доступа также может быть организована на чипсете AR5008, выпускаемый компанией Atheros (рис. 5). Такой чипсет реализовывает базовую функцию устройства, позволяющую обмениваться данными с ЭВМ и регистраторами 1-го уровня, а также осуществлять прием и трансляцию пакетов данных через эфир.

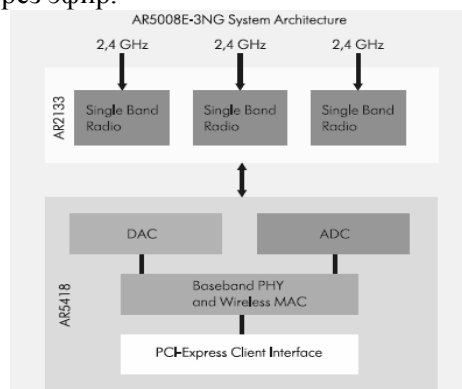


Рис. 5. Структура чипсета AR5008

Этапы разработки универсальной ИВС заключались в следующем:

1. Системное проектирование; Декомпозиция проекта, – разбиение его на составные части (блоки), выбор общей архитектуры устройства, определение способов взаимодействия составных частей друг с другом, разработке спецификаций для каждого блока;
2. Проектирование или подбор компонентов системы; Определение основных способов выполнения требований спецификаций, осуществляется физическая разработка и отладка отдельных компонентов системы;
3. Сборка системы, физическое проектирование; Иерархическое объединение блоков проекта в единое целое; Разработанные на этапе проектирования блоки организуются в соответствии со спецификациями в единый комплекс; Выполняется функциональное моделирование проекта, разработка физиче-

ского представления системы (топология), аналоговое (смешанное) моделирование;

4. Программное проектирование, отладка проекта; Разработка базового программного обеспечения системы.

Созданная ИВС пятого поколения позволяет устранить основные недостатки систем четвертого поколения: большие капиталовложения в компьютеризацию техносферных образований, предъявление высоких требований к квалификации пользователей. Концептуальная модель ИВС предполагает использование блочно-модульного принципа построения системы, что позволяет формировать её иерархический состав гибко и просто в зависимости от задач применения. ИВС также может быть использована для контроля функциональных параметров пациентов группы риска по различным заболеваниям, военнослужащих выполняющих боевые задания в отрыве от основных групп войск, так и контроля технических параметров различных сред и устройств в промышленности.

Литература

1. ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава. Технический регламент ТС [Текст]. – Введ. 2011-07-15.– М.: Комиссия Таможенного союза, 2011. – 66 с.
2. 16-разрядный микроконвертер [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL : <http://www.niuet.ru/chips/microconvertors/>
3. Гусев, А. Аппаратные решения чипсетов Wi-Fi [Текст] / А. Гусев // Первая миля. – 2007. – №3. – С. 22-28.
4. Пат. 131481 Российская Федерация, МПК G01N11/00. Устройство диагностическое виброизмерительное [Текст] / Журавлев Д.В., Бовкун А.С., Мочалов М.М. ; заявитель и патентообладатель ООО "Промышленная экология и безопасность". – №2013108653/28 ; заявл. 26.02.2013 ; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. – 2 с.
5. Пат. 59821 Российская Федерация, МПК G01J5/08. Пирометр [Текст] / Журавлев Д.В., Костин А.А., Мочалов М.М. ; заявитель и патентообладатель ООО "Промышленная экология и безопасность". – № 2006126775/22 ; заявл. 21.07.2006 ; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36. – 2 с.

Воронежский государственный технический университет

CONTROL SYSTEM DESTABILIZING FACTORS ROLLING STOCK

D.V. Zhuravlev, Y.S. Balashov

The developed information-processing system of the fifth generation for the registration and processing of the readings of various sensors used in various fields of science and technology. The system is an organizational and technical complex, which is able to provide collection, transfer, processing, storage, output and strategic data analysis. The review developed an information system with respect to control destabilizing factors arising in the process of movement of railway rolling stock

Key words: remote monitoring, information and computing system, technosphere safety

РАЗРАБОТКА PLM-КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ 1С:PDM С ДРУГИМИ СИСТЕМАМИ

В.Ф. Барабанов, В.В. Сафронов, Э.Е. Прудников, С.А. Коваленко

В статье рассмотрен механизм разработки PLM-компоненты для системы 1С:PDM

Ключевые слова: PLM-компонента, интеграция, программные продукты, COM-соединение

При работе с любой информационной системой пользователь или администратор данной системы всегда сталкиваются с вопросом интеграции программных продуктов (ПП). Вопрос интеграции ПП возникает всегда, иногда на старте внедрения системы, иногда уже в ходе эксплуатации.

В данной статье рассмотрим возможности расширения функционала системы 1С:PDM через PLM-компоненты, а также механизм разработки собственных компонент.

Необходимость разработки собственных PLM компонент для 1С:PDM связана с тем, что в 1С:PDM не всегда имеется требуемый функционал. Разработчики 1С:PDM периодически выпускают новые обновления программы, но не всегда в обновлении реализован требуемый функционал [6]. Так в версии 2.0 появилась новая система интеграции с CAD системами. Появились компоненты работы с SolidWorks, SolidEdge, КОМПАС, Pro/E, Autodesk Inventor и др.

Но периодически у организаций, работающих с 1С:PDM, возникают задачи интеграции системы с другими программными продуктами, для которых средства интеграции еще не разработаны, например с программной системой ANSYS.

Данная задача интеграции возможно в дальнейшем будет реализована разработчиками, но не всегда известно, как скоро она появится. Отсюда возникает задача разработки собственных механизмов интеграции или дополнительных PLM-компонент.

Рассмотрим основные принципы создания PLM-компоненты, которые позволят разработчику доработать компоненту под требуемый программный продукт.

Разработанная PLM-компонента представляет собой файл динамически подключаемой библиотеки (файл с расширением *.dll). Данная библиотека разрабатывается с учетом возможности регистрации для COM-взаимодействия.

Настройка регистрации для COM-взаимодействия при разработке PLM-компоненты на Microsoft Visual Studio 2012 (C#) представлена на рис. 1.

Таким образом, в PLM-компоненте используется объектная модель компонентов или Component Object Model (COM), разработанная компанией Microsoft 1993 году.

При использовании технологии COM-взаимодействия появляется возможность зарегистрировать разработанную PLM-компоненту в системе как отдельный COM-объект.

При разработке компоненты разработчик может реализовать несколько интерфейсных классов (COM-интерфейсов), в которых будут собраны процедуры и функции нужного назначения [1]. На рис. 2 представлена часть программного кода, показывающего создание класса.

После регистрации PLM-компоненты в системе появиться возможность обращения к зарегистрированному COM-объекту и к конкретному COM-интерфейсу [2]. При правильной разработке компоненты и ее регистрации в реестре операционной системы Windows появляется соответствующий COM-объект, с указанием класса (интерфейса) к которому можно обращаться.

Следует заметить, что данная технология (COM) доступна только для операционных систем семейства Windows. Т.е. на операционных системах семейства Linux данная технология не реализована.

Также следует отметить, что если имеется клиент-серверный вариант работы 1С:PDM, где серверная часть работает под управлением операционной системы семейства Linux, а клиентские машины работают под управлением операционной системой семейства Windows, то данная технология будет работать в полном объеме [3]. Т.к. в таком случае будет задействоваться COM-объект не на сервере, а на локальной машине, где будет осуществляться обращение к разработанной PLM-компоненте.

Проанализировав в редакторе реестра операционной системы Windows строку DllFor1C.MyClass можно сделать вывод, что в операционной системе зарегистрирован COM-объект (или иными словами разработанная PLM-компонента), который имеет один COM-интерфейс

Барабанов Владимир Федорович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: bvf@list.ru

Сафронов Виталий Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: vitolik@bk.ru

Прудников Эдуард Евгеньевич – ВГТУ, магистрант, e-mail: e.prudnikov@2drt.ru

Коваленко Сергей Александрович – ВГТУ, магистрант, e-mail: sergpc@yandex.ru

(или класс). DllFor1C – COM-объект, MyClass – COM-интерфейс. На рис. 3 представлен редактор

реестра операционной системы Windows 8.1 с зарегистрированной компонентой DllFor1C.

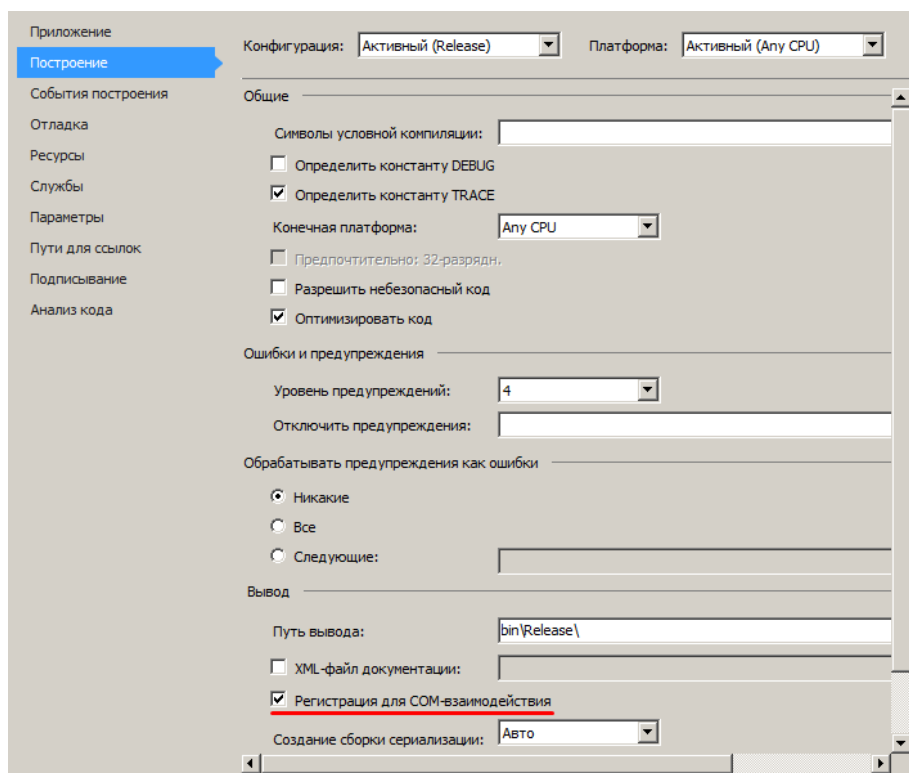


Рис. 1. Настройка регистрации для COM-взаимодействия в PLM-компоненте

```
namespace DllFor1C
{
    //3. объявляем интерфейс для класса, создаем GUID
    [Guid("195c4497-eab0-4080-8e9e-4b2fefb988b8")]
    internal interface IMyClass
    {
```

Рис. 2. Пример объявления COM-интерфейса (C#)

При обращении к PLM-компоненте из системы 1C:PDM следует указывать к какому классу (интерфейсу) требуется обратиться.

Далее в статье будет рассмотрен конкретный пример расширения функционала системы 1C:PDM через собственную PLM-компоненту.

Например, требуется реализовать возможность управления дисководом из 1C:PDM (открывать или закрывать CD-ROM).

Данная возможность средствами 1C:Предприятие не реализована, т.е. в конфигураторе системы 1C нет такой функции или процедуры, которая позволила бы выполнить данное действие.

Поэтому данная процедура реализуется средствами стороннего языка программирования внутри PLM-компоненты, после чего нужная процедура вызывается из системы 1C:PDM. На рис. 4 представлен соответствующий программный код на языке программирования C#.

Так как разработанная PLM-компонента зарегистрирована в операционной системе как COM-объект, то в 1C:PDM будет достаточно выполнить обращение к соответствующему COM (с указанием класса) [4]. После чего методы и свойства соответствующего COM-интерфейса становятся доступны в 1C.

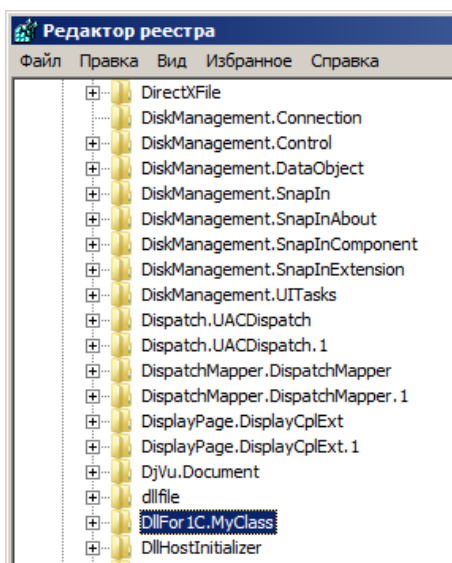


Рис. 3. Просмотр зарегистрированных COM-объектов в системе через редактор реестра


```
//процедура для открытия/закрытия CD-ROM'a из 1C
public void OpenCD(bool MyParam)
{
    if (MyParam)
    {
        mciSendString("set CDAudio door open", null, 0, IntPtr.Zero);
    }
    else
        mciSendString("set CDAudio door closed", null, 0, IntPtr.Zero);
}
```

Рис. 4. Код процедуры открытия или закрытия CD-ROM (C#)

Пример вызова процедуры открытия или закрытия CD-ROM из 1C представлен на рисунке 5.

Технология внешних компонент расширяет возможности разработки, а также интеграции различных программных продуктов с программами семейства 1C [5-11].

```
НаСервере
Процедура ТестDLLНаСервере()
{
    МойСОМ = Новый СОМОбъект("DllFor1C.MyClass");
    МойСОМ.OpenCD(Истина);
}
КонецПроцедуры
```

Рис. 5. Открытие CD-ROM из 1C

Используя описанный механизм разработки PLM-компоненты разработчик, может реализовать необходимую функциональность для системы 1C:PDM или других конфигураций, используя возможности других языков программирования.

Работа выполнена по договору № 1450/300-13 от 24 февраля между ОАО «Турбонасос» и ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы» (Постановление Правительства Российской Федерации №218 от 9.04.2010)

Литература

1. Гончаров, Д.И. Технологии интеграции «1C:Предприятие 8.2» [Текст] / Д.И. Гончаров, Е.Ю. Хрусталева. – М.: ООО «1C-Паблишинг», 2011. – 358 с.

2. Создание электронного архива средствами PDM-систем [Текст] / А.М. Нужный, В.В. Сафронов, А.В. Барабанов, А.В. Гаганов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 6.1. – С. 23-27.

3. Барабанов, А.В. Разработка конфигурации учета корреспонденции на базе системы 1C:Предприятие 8 [Текст] / А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, Э.Е. Прудников // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 63–65.

4. Прудников, Э.Е. Разработка модуля администрирования для информационной базы 1C:Предприятие 8 [Текст] / Э.Е. Прудников, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова // Международная научная школа «Парадигма» Лято-2015. – 2015. – Т.2 – С. 238–243.

5. Алгоритм запуска сторонних приложений из системы 1C:PDM [Текст] / А.И. Сукачев, А.М. Нужный, А.В. Гаганов, Н.И. Гребенникова, А.В. Ачкасов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – № 5. – С. 10-13.

6. Карточка решения – 1C:PDM Управление инженерными данными [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL : [http:// www. solutions. 1c.ru/ catalog/ pdm/ support](http://www.solutions.1c.ru/catalog/pdm/support).

7. Подвальный, С.Л. Многоальтернативные системы: обзор и классификация [Текст] / С.Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – Т. 48. – № 2. – С. 4-13.

8. Подвальный, С.Л. Сопряженные системы и градиент при оптимизации динамических систем [Текст] / С.Л. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8. – № 12-1. – С. 4-13.

9. Barabanov, A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes [Text] / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. – 2012. – Т. 73. – № 7. С. 1265-1268.

10. Подвальный, С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 5-1. – С. 41-43.

11. Подвальный, С.Л. Особенности поисковой градиентной оптимизации сложных объектов с использованием сопряженных систем [Текст] / С.Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 56. – № 2. – С. 18-22.

Воронежский государственный технический университет

DEVELOPMENT PLM-COMPONENTS TO INTEGRATE 1C:PDM WITH OTHER SYSTEMS

V.F. Barabanov, V.V. Safronov, E.E. Prudnikov, S.A. Kovalenko

The article describes the mechanism of the development of PLM-components for system 1C:PDM

Key words: PLM-component integration, software, COM-connect

ПСИХОЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ

К.Ю. Гусев, В.Л. Бурковский

В статье рассматривается возможность использования методов психолингвистики в условиях систем анализа информационных данных. Кроме того, предлагается формальный подход к составлению прогнозов на основе косвенных данных об объекте, а также анализируются перспективы применения методов психолингвистики при составлении краткосрочных прогнозов

Ключевые слова: психолингвистика, фундаментальный анализ

...СМИ сегодня есть инструмент идеологии, а не информации. Главное в их сообщениях – идеи, внедряемые в наше сознание контрабандой [1].

С.Г. Кара-Мурза, российский учёный, публицист

Современное состояние экономики страны наглядно показывает, насколько важной бывает не только полученные и получаемые информационные данные, сколько их адекватный и оперативный анализ для принятия решений. В настоящее время имеется доступ к неограниченному объёму информационных данных, таких как новостная лента, блоги, форумы, слухи и нет возможности, каким-либо образом, обеспечить принудительную защиту от получения этих данных. Маркетинговые и социально-информационные технологии на сегодняшний день являются глобальными рычагами воздействия при разрешении международных вопросов и конфликтов.

Любые, сколь угодно незначимые, информационные данные могут вносить существенные изменения в социально-экономические процессы мирового сообщества. Истории известны случаи, когда полученные данные могли пойти на пользу, но в случае их некорректной обработки приносили колоссальный ущерб. Если посмотреть на современную мировую биржу, то легко найти взаимосвязь между мировыми ценами на нефть и политической обстановкой на Африканском континенте, отношением пары доллар/рубль и решениями ОПЕК, отношением пары евро/рубль и выхода в средствах массовой информации новости о подписании контракта о поставках газа из России в Китай. Таким образом, сегодня, перед аналитическими центрами и экспертами в большей степени стоит задача оперативного анализа полученной информации, её формализация и получение

актуального прогноза. Данный вопрос предлагается рассмотреть с двух сторон: с точки зрения психолингвистического анализа и с точки зрения фундаментального анализа данных.

Психолингвистический анализ данных

Рассматривая, в качестве примера политический текст, отметим, за ним, как правило, стоит не один автор, а автор коллективный. И этот коллективный автор обладает набором определённых приёмов и навыков для осуществления речевого воздействия, консультируется с другими участниками социального и политического процесса и использует при создании текста разнообразные лингвистические приемы. Автор может создавать эмоциональный настрой текста и имитировать психологическую близость субъекта (автора) и объекта (реципиента) коммуникации искусственно. Эмоции, «смоделированные» подобным политическим текстом могут подтолкнуть аудиторию к совершению необходимых действий или формированию необходимого мнения.

Данная ситуация попадает в область психолингвистики – науки, которая «изучает процессы производства и понимания текста, социальные, коммуникативные условия протекания этих процессов с учётом экстралингвистических факторов и психологической значимости знакомых единиц языка». В психолингвистике наработано много способов анализа порождения речи и процесса её понимания в зависимости от языковых средств и стилистических приёмов, которые использует автор [2].

Современная лингвистика текста, учитывающая психолингвистические аспекты восприятия текста, в первую очередь выделяет не проблемы формальной и семантической бли-

Гусев Константин Юрьевич – ВГТУ, канд. техн. наук, e-mail: gussev_konstantin@mail.ru

Бурковский Виктор Леонидович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: emses@mail.ru

зости последовательно расположенных высказываний, а вопросы коммуникативного плана, задачи исследования условий удачной (эффективной) коммуникации, прагматический аспект. В фокусе внимания оказываются языковые средства, которыми осуществляется сообщение. Таким образом, в этом случае вопрос лингвистики исследуемого текста становится сходным с множеством научных направлений, в том числе с психолингвистикой [3].

С одной стороны, методологический аппарат психолингвистики во многом заимствован из области экспериментальной психологии. С другой стороны, как и другие лингвистические дисциплины, психолингвистика опирается на языковые факты.

Традиционно в психолингвистике выделяется три метода обработки языкового материала, подлежащего анализ:

- метод интроспекции. Данный метод основан на интуиции исследователя или специалиста. По мнению многих экспертов именно этот метод считается ключевым для понимания языка и мышления;

- метод наблюдения в естественных условиях. Включает также и распространённый в последнее время корпусный метод.

- экспериментальный метод. В настоящее время данный метод является основным исследовательским методом психолингвистики.

Традиционно, рассмотренные три метода обозначаются по нахождению исследователя-специалиста – «кресло», «поле» и «лаборатория»

Вышеописанные методы имеют свои несомненные преимущества и недостатки. Большинство исследований имеют своё начало в кресле, а потом проверяется в поле или в лаборатории. При исследовании в лабораторных условиях, как правило, имеют возможность работать с закрытой системой – факторы, оказывающие влияние на исследование, в необходимой степени управляемы и предсказуемы; на практике, значительно чаще исследование определено, как открытая система, когда система управляется частично или же является абсолютно неуправляемой. Таким образом, внутренняя и экологическая валидности эксперимента находятся в обратном отношении: улучшается одна и тем самым ухудшается другая, и наоборот. Несомненно, однако, что наиболее надежные и валидные результаты могут быть получены только в результате сочетания всех существующих методов сбора и анализа языковых фактов.

Однако и в рамках экспериментальной парадигмы существует континуум от более естественных к более искусственным языковым данным. Исследователь описывает две психолингвистические традиции, которые во многом похожи на генеративный и функциональный подходы в лингвистике, – «язык как продукт» (“language-as-product”) и «язык как действие» (“language-as-action”). Языковой материал, полученный в ходе экспериментальных исследований второго направления, является гораздо более естественным.

Психолингвистический анализ текста предполагает выявление стоящих за вербальной формой текста психологических состояний и отношений, которые заложены в текст автором или группой авторов. В фокусе внимания оказывается языковая форма текста, которая зачастую связана со смыслом, выражаемым языком, опосредованно.

Фундаментальный анализ информационных данных

Фундаментальный анализ – это методы прогнозирования и аналитики рыночной стоимости компаний, в основе которых лежит анализ ее показателей производственной и финансовой деятельности. Инвесторы используют фундаментальный анализ непосредственно для стоимостной оценки компаний (предприятия) либо ее акций, которая отображает рентабельность ее деятельности и состояние дел в общем.

Существует несколько уровней фундаментального анализа:

- анализ внутренних факторов, относящихся к предприятию-эмитенту;

- анализ текущего состояния дел и перспектив отрасли, где работает предприятие-эмитент;

- анализ положения дел в государстве, где размещается предприятие-эмитент;

- анализ внешних (международных) экономических и политических факторов;

- анализ природных факторов.

Все эти виды анализа взаимосвязаны друг с другом, так что исследование надо выполнять в комплексе.

При фундаментальном анализе исследуемого объекта специалисты выделяют два основных подхода. Первый, как правило, обозначается движением «сверху-вниз», начинается с глобального экономического анализа исследуемого объекта, затем переходит в анализ состояния конкретной отрасли и, в итоге, к

фундаментальному анализу состояния компании. Второй подход, при котором специалист анализирует «снизу-вверх», начинает с микроуровня, затем переходит к анализу конкретной отрасли и заканчивает экономической ситуацией в целом. Оба подхода возможны и не являются взаимоисключающими [4].

Профессионально проведенный фундаментальный анализ предполагает знание того, что в разных условиях одни и те же экономические и другие факторы могут оказывать на рынок различное влияние либо, будучи незначительными, перерасти в самые решающие. Для аналитиков залогом успеха в проведении всего фундаментального анализа, будет понимание законов и тонкостей финансового рынка, и умение сопоставить между собой на первый взгляд совершенно несвязанные события [5]. Фундаментальный анализ, например, биржи Форекс предполагает понимание трейдерами общей картины, но только всегда подтверждаемой новостями. По этой причине при проведении фундаментального анализа, сравниваются показатели какой-либо одной страны в различные временные промежутки.

Во время проведения полного фундаментального анализа определяются глубинные причины долгосрочного (в несколько лет) падения/роста какой-либо из валют. Однако, современные технические средства позволяют использовать методы фундаментального анализа при составлении прогноза внутри дневного промежутка времени [6].

Заключение

Отличительной чертой возможности использования методов фундаментального анализа в краткосрочной перспективе является обработка большого объема непрерывно обновляемых информационных данных, в том числе включающих в себя и медийные данные с высоконагруженных веб-сайтов [7]. Таким образом, в связи с ограниченными возможно-

стями человека при работе с непрерывно поступающей информацией, появляется необходимость разработки моделей и алгоритмов, использующих знания психолингвистики для обработки данных методами фундаментального анализа. Разрабатываемые алгоритмы предназначены для ускорения процесса обработки данных и минимизации трудозатрат специалистов, занимающихся анализом информационных потоков [8-9]. В настоящее время качественный сбор данных, их оперативный и актуальный анализ является неотъемлемой процедурой при составлении прогнозов, которые, в свою очередь, являются одним из самых значимых факторов при принятии управленческих решений.

Литература

1. Кара-Мурза, С. Манипуляция сознанием [Текст] / С. Кара-Мурза. – Киев: "Орианы", 2000. – 458с.
2. Сазонов, С.В. К вопросу о критериях оценки верификации текстов. Речевое воздействие: Психологические и психолингвистические проблемы [Текст] / С.В. Сазонов. – М.: Наука, 1986. – 214с.
3. Красных, В.В. Основы психолингвистики и теории коммуникации. Курс лекций [Текст] / В.В. Красных. – М.: ИТДГК «Гнозис», 2001. – 270с.
4. Рубцов, Б.Б. Мировые фондовые рынки: современное состояние и закономерности развития [Текст] / Б.Б. Рубцов. – М.: ФА, 2000. – 316с.
5. Сорос, Дж. Алхимия финансов [Текст] / Дж. Сорос. – М.: Инфа-М, 2001. – 208с.
6. Царихин К. Фундаментальный анализ [Текст] / К. Царихин. – СПб.: Питер, 2005. – 42с.
7. Новиков, О.В. Методы ускорения работы рекомендательных систем для высоконагруженных веб-сайтов [Текст] / О.В. Новиков // Прикладная информатика. – 2013. – №5. – С. 29-34.
8. Подвальный С.Л. Имитационное управление технологическими объектами с гибкой структурой [Текст] / С.Л. Подвальный, В.Л. Бурковский. – Воронеж, 1988.
9. Подвальный С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 5.1. – С. 41-43.

Воронежский государственный технический университет

PSYCHOLINGUISTIC ANALYSIS OF INFORMATION DATA

K.Y. Gusev, V.L. Burkovskiy

The article discusses the possibility of using the methods of psycholinguistics in the context of systems analysis and information data. In addition, it proposes a formal approach to making predictions on the basis of indirect data about the object, and analyzes the prospects of application of methods of psycholinguistics in compiling short-term forecasts

Key words: psycholinguistics, fundamental analysis

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ В СИСТЕМЕ 1С:PDM

А.М. Нужный, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, В. В. Сафронов

В статье выполнен анализ средств технологического проектирования системы 1С:PDM, рассмотрены возможности информационного обмена технологическими данными с САПР ТП

Ключевые слова: технологическое проектирование, 1С:PDM, САПР ТП, информационное взаимодействие

Введение

Системы управления инженерными данными, обеспечивающие централизованное хранение всей проектной документации на изделие, должны выполнять функцию совместного формирования, хранения и использования как конструкторской, так и технологической документации [1,2].

Для создания комплектов технологической документации, оформленных в соответствии с требованиями ЕСТД, традиционно используются специализированные САПР технологического проектирования. Отечественные САПР ТП (а использование зарубежных продуктов этой категории является достаточно редким явлением, что объясняется значительными различиями в нормативных базах, методологии проектирования ТП) в большинстве обеспечивают выполнение этой функции. Отличия между системами от различных производителей заключаются в степени автоматизации деятельности технологов и в различных подходах к формированию описаний технологических процессов.

В данной статье рассмотрены методы формирования технологических данных в системе 1С:PDM, управление инженерными данными, а также возможность обмена технологическими данными с САПР ТП сторонних разработчиков.

Обзор современных САПР ТП

Наиболее распространенными системами автоматизированного проектирования технологических процессов на отечественном рынке являются САПР ТП Вертикаль, система T-FLEX/Технология, комплекс технологического проектирования ТехноПро. Рассмотрим возможности этих программ.

САПР ТП Вертикаль, разрабатываемая компанией АСКОН, обеспечивает проектирование технологических процессов, расчет материальных и трудовых затрат на производство, формирование

всех необходимых комплектов технологической документации, формирование заказов на проектирование специальных средств технологического оснащения и создание управляющих программ, поддержку актуальности технологической информации с помощью процессов управления изменениями.

Особенностью системы является использование модульной технологии проектирования, реализованной через понятие конструкторско-технологических элементов (КТЭ). Любое изделие представляется в виде набора стандартных элементов, каждому из которых, в зависимости от размеров, качества точности и шероховатости, ставится в соответствие перечень последовательных технологических операций. В системе присутствует базовый набор КТЭ, который может быть расширен технологами предприятия, однако этот процесс требует от технолога наличия большого опыта, знания технологий в целом и модульной технологии в частности [3].

САПР ТП Вертикаль интегрирована в состав системы управления жизненным циклом изделия ЛОЦМАН:PLM и обеспечивает наилучшее взаимодействие с конструкторской САПР КОМПАС-3D.

T-FLEX/Технология от компании «Топ Системы» обеспечивает автоматизированную разработку маршрутной, маршрутно-операционной и операционной технологий, включая следующие операции: заготовительные, механической и термической обработки, нанесения покрытий, слесарные, сборки и др. Диалоговый режим обеспечивает формирование ТП путем выбора необходимых операций, переходов и оснастки из справочников системы. Создаваемые таким образом ТП могут служить основой для их использования в дальнейшем в качестве ТП-аналогов [4].

Выбор технологического оснащения производится из информационной базы системы.

Комплекс технологического проектирования и подготовки производства ТехноПро (корпорация «Вектор-Альянс») обеспечивает поддержку проектирования операционной технологии, включая заготовительные операции, операции механической и термической обработки, нанесения покрытий, слесарные операции, операции технического

Нужный Александр Михайлович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: nam14@mail.ru

Барабанов Александр Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: bav36@mail.ru

Гребенникова Наталия Ивановна – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473) 243-77-18

Сафронов Виталий Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, e-mail: safronov.vitaliy@mail.ru

контроля, сборки, штамповки, сварки и др. Система формирует операционные, маршрутно-операционные и маршрутные технологические карты, ведомости оснастки, карты контроля, материалов и комплектующих, титульные листы и прочие технологические документы.

Структура единичного маршрутного ТП определяется пользователем в диалоговом режиме. Широко использована конструкторско-технологическая параметризация.

Анализ вышеперечисленных систем позволяет сделать вывод, что в настоящее время проектирование техпроцесса с использованием САПР осуществляется двумя основными способами – проектирование с использованием процесса-аналога (типового, группового, обобщенного) или с использованием баз данных по отдельным операциям, переходам, оборудованию и т.п. Описание технологии во всех системах производится в терминах технологических операций и переходов. При формировании этих элементов используются справочники центров обработки, базы данных оборудования, приспособлений и инструмента, расчетные модули для выполнения нормирования времени и материалов.

При этом отмечается, что существующие системы позволяют в значительной мере облегчить труд технолога, но не обеспечивают полной его автоматизации [3]

Средства технологического проектирования 1С:PDM

Модуль управления технологией изготовления является одним из главных модулей системы наряду с модулем управления справочной информацией и модулем управления структурой изделия.

Модуль управления технологией обеспечивает автоматизированное формирование технологических описаний для элементов электронной структуры изделия, на базе которых пользователь может получать комплекты технологической документации в соответствии с ЕСТД [4].

Одним из основных преимуществ использования средств разработки электронной технологии 1С:PDM при формировании конструкторско-технологической документации является совместное использование справочных данных конструкторами и технологами. Так, занесение или использование данных из конструкторско-технологического справочника, входящего в состав системы, начинается еще на этапе проектирования конструкции изделия, для определения материала конструкций.

Для хранения конструкторско-технологических данных в системе используются такие справочники, как разделы конструкторско-технологического справочника в части видов операций, материалов, средств технологического оснащения, справочник подразделений, справочник

рабочих центров, справочник групп заменяемости рабочих центров, справочник технологических операций, справочник точек маршрутов, справочник методов обработки. Практически все вышеперечисленные справочники присутствуют и в рассмотренных ранее САПР ТП.

Автоматизированное проектирование технологии начинается с анализа чертежа детали, размещенного в структуре изделия. Технолог имеет возможность на основе конструкторского состава создать технологический состав полуфабриката так, как это предусмотрено процессом изготовления. Проектирование технологических процессов в системе 1С:PDM осуществляется на основе маршрутных и операционных технологических процессов.

Маршрутный технологический процесс (МТП) оформляется маршрутной картой, где устанавливается перечень и последовательность технологических операций, тип оборудования, на котором эти операции будут выполняться, применяемая оснастка, укрупненная норма времени без указания переходов и режимов обработки.

Операционный технологический процесс (ОТП) детализирует технологию обработки и сборки до переходов и режимов обработки. Здесь оформляются операционные карты технологических процессов.

Система предусматривает различные варианты разработки этих составляющих ТП:

- разработка МТП и ОТП по отдельности с последующим их объединением;
- разработка ОТП в составе МТП;
- разработка МТП без использования ОТП.

Выбор способа описания ТП и глубины детализации технологии в системе обусловлен существующим бизнес-процессом описания технологии на предприятии и задачами, решаемыми в учетной системе.

Разработка технологии на производстве начинается с разработки **межцеховых технологических маршрутов (распеховок)**, определяющих последовательность прохождения материалами, полуфабрикатами, деталями производственных подразделений и пунктов обработки при изготовлении деталей и сборочных единиц.

По окончании разработки технологических маршрутов технологом выдаются задания на разработку цеховых технологических процессов. Технологи в соответствии со специализацией по видам обработки, создают свои технологические процессы по пунктам обработки, указанным в распеховке.

После того, как все ТП по видам обработки созданы, создается маршрутный технологический процесс, результатом которого уже является непосредственно деталь или сборочная единица.

Автоматизация разработки ТП становится возможной благодаря использованию «Редактора маршрутов» – компонента, предназначенного для оперативного создания и редактирования

расцеховочных маршрутов, создания технологических процессов, добавления основных материалов и их норм.

Для поддержки актуального состояния проекта используется бизнес-процесс изменения состояний, позволяющий производить согласование изменений со всеми участниками проекта. Формирование технологической документации выполняется с помощью внешней обработки «Конструктор технологических карт (PDM)», которая обеспечивает печать более 20 разновидностей документов, оформленных по требованиям ЕСТД.

Вышеперечисленные средства системы позволяют достаточно оперативно и с высоким уровнем автоматизации формировать описания большинства технологических процессов. Для решения более сложных задач, таких как расчет режимов резания и сварки, формирование сложных сквозных техпроцессов, и т.п., может понадобиться инструмент, позволяющий производить выгрузку и загрузку технологических данных из/в IC:PDM для организации взаимодействия с внешней САПР ТП.

Штатные средства обмена технологической информацией, имеющиеся в системе, предназначены для организации обмена технологическими описаниями с аналогичной конфигурацией IC:PDM. Для взаимодействия с системами сторонних разработчиков необходимо организовать обмен как технологическими описаниями, так и связанной с ними нормативно-справочной информацией.

Организация обмена технологическими данными

Для реализации процедуры обмена была выбрана схема с промежуточным хранилищем.

В качестве промежуточного хранилища данных используется XML-документ.

Данный подход имеет множество плюсов, в частности XML-формат позволяет хранить объекты большой вложенности, при этом затраты на сохранение структуры объекта малы по сравнению с другими решениями (например, для хранения документа в Excel, пришлось бы резервировать несколько полей под описание структуры вложенности, что для больших объектов обернулось бы большими затратами памяти и сложностью обработки) [6-8].

К плюсам такого подхода также следует отнести возможность использования механизма XDTO, используемого компанией «IC» для объектного моделирования данных, описываемых с помощью схемы XML. Механизм XDTO поддерживает сериализацию данных, позволяющую переводить в/из XML все типы данных, поддерживаемые платформой «IC». XDTO-сериализация предназначена для сохранения данных объекта в файл XML и создания объекта на основе данных, хранящихся в файле XML.

Разработанный модуль обмена технологической информацией позволяет учитывать возможные различия структуры и содержимого, а также методов хранения НСИ (нормативно-справочной информацией) и ЭТИ (электронной технологии изделия) в IC:PDM и САПР ТП, и обеспечивает выгрузку и загрузку выбранных технологических данных с использованием XML-документа.

Структура модуля включает ряд блоков, реализующих определённый функционал.

Структурная схема модуля представлена на рис. 1.

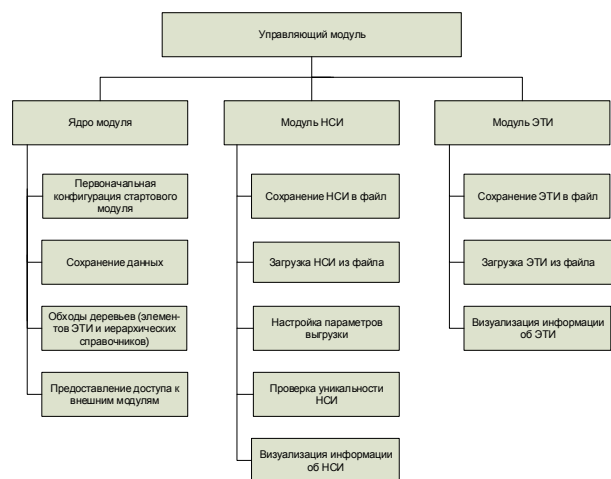


Рис. 1. Структурная схема программного модуля

Ядро содержит функции сохранения и загрузки данных в метаданные IC:PDM.

Модуль НСИ позволяет производить обмен справочными данными и просмотр краткой информации об НСИ.

Модуль ЭТИ предоставляет функционал загрузки, выгрузки элементов электронной технологии с учётом контроля целостности.

ЭТИ организованы IC:PDM в объекты, содержащие информацию о технологии изделия, составных частях, документации и др. Процедура выгрузка ЭТИ в файл приведена на рис. 2.

НСИ содержится в ряде справочников IC:PDM (список этих справочников был составлен в ходе проектирования, его можно увидеть в настройках модуля НСИ). Для обмена информацией об НСИ необходимо выгружать всю информацию, содержащуюся в этих справочниках. Процедура выгрузки НСИ в файл приведена на рис. 3.

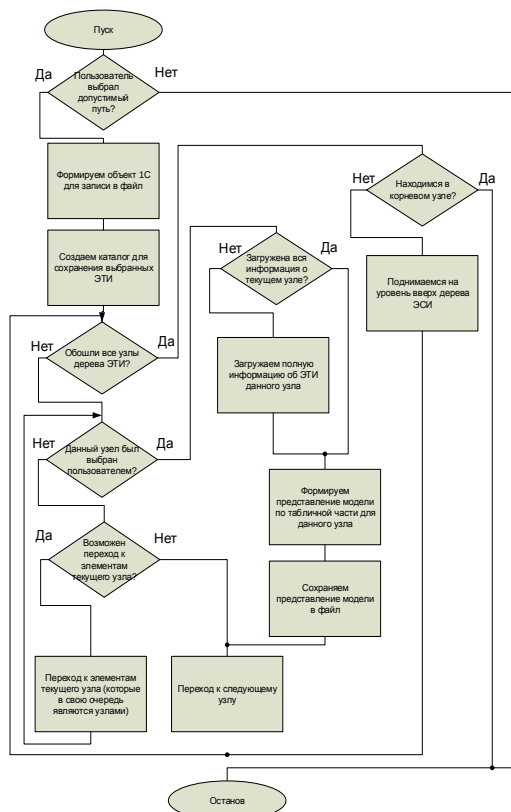


Рис. 2. Алгоритм выгрузки ЭТИ в файл

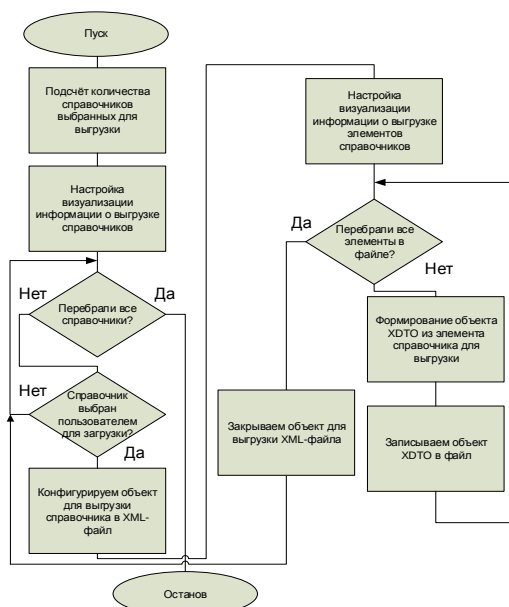


Рис. 3 Алгоритм выгрузки НСИ в файл

Заключение

Разработанный программный модуль позволяет производить доработку технологических описаний, сформированных в системе 1С:PDM средствами сторонних САПР ТП с последующей загрузкой доработанных данных в систему. Используемый формат хранения данных позволяет значительно упростить процедуру разработки конвертеров средствами сторонних САПР ТП.

Работа выполнена по договору № 1450/300-13 от 24 февраля между ОАО «Турбонасос» и ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы» (Постановление Правительства Российской Федерации №218 от 9.04.2010)

Литература

1. Анализ факторов выбора системы управления данными [Текст] / А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, А.В. Барабанов, А.В. Поваляев // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 6.2. - С. 25-31.
2. Создание электронного архива средствами PDM-систем [Текст] / А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, А.В. Барабанов, А.В. Гаганов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9, № 6.1. - С. 23-27.
3. Продукт: САПР_ТП_Вертикаль [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL <http://www.tadviser.ru/index.php/>
4. Autodesk: снижение доходов на 4% на фоне ускоренного сдвига в сторону подписок [Электронный ресурс] : Режим доступа : World Wide Web. URL http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=13839
5. Разработка универсального модуля обмена технологическими данными для 1С:PDM [Текст] / В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, С.А. Коваленко // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т. 11, № 2. - С. 54-56.
6. Барабанов В.Ф. Интерактивные средства моделирования сложных технологических процессов [Текст] / В.Ф. Барабанов, С.Л. Подвальный. - Воронеж, 2000.
7. Подвальный, С.Л. Сопряженные системы и градиент при оптимизации динамических систем [Текст] / С.Л. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2012. - Т. 8. - № 12.1. - С. 57-62.
8. Barabanov A.V. Structural modeling of continuous multi-center polymerization processes / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. - 2012. - Т. 73. - № 7. - С. 1265-1268.

Воронежский государственный технический университет

ORGANIZING THE EXCHANGE TECHNOLOGICAL DATA IN THE 1C: PDM

A.M. Nuzhnyy, A.V. Barabanov, N.I. Grebennikova, V.V. Safronov

Approaches on the technological design means 1C: PDM are considered in article

Key words: technological design, 1C: PDM, CAM, information interaction

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

И. М. Зуга, В. Г. Хомченко

В статье предложен метод многокритериальной оптимизации схем взаиморасположения объектов производственных комплексов различных отраслей промышленности. Оптимизация схем ведется из условия минимизации затрат на коммуникационные связи между объектами, площади, периметра и размеров территории, занимаемой проектируемым комплексом. Приведен пример многокритериальной оптимизации

Ключевые слова: схема, взаиморасположение, объекты, оптимизация

Рациональное размещение объектов производственных комплексов различных отраслей промышленности имеет большое народнохозяйственное значение, так как позволяет, сокращать затраты на создание и эксплуатацию коммуникационных связей между объектами и уменьшать площади, необходимые для размещения проектируемого предприятия, а так же, улучшать некоторые другие качественные характеристики.

Проблема размещения объектов возникает на этапе разработки генеральных планов производственных комплексов. В настоящее время из-за отсутствия соответствующего математического и программного обеспечения при проектировании генеральных планов удастся рассмотреть весьма ограниченное число вариантов распределения объектов предприятия на выделенной территории. При этом количественной оценки рассматриваемых вариантов, как правило, не производится, а при выборе окончательного варианта полностью полагаются на опыт и интуицию проектировщиков.

Данная статья посвящена разработке метода многокритериального оптимизационного синтеза схем размещения объектов производственных комплексов, а именно – из условия минимизации затрат на реализацию коммуникационных связей между объектами, минимизации площади, занимаемой объектами территории, а также минимизации периметра и размеров в плане проектируемого производственного комплекса. Оптимизацию можно вести как по одному из указанных критериев, так и по любому необходимому их сочетанию, используя соответствующие методы многокритериальной оптимизации.

В настоящее время достаточно развитыми являются методы решения задач о назначении, когда требуется разместить те или иные объекты производственных комплексов на заранее выделенные места [1-8].

В данной работе проектирование схем размещения объектов ведется при условии, что места расположения объектов предварительно не назна-

чены, а определяются в ходе оптимизационного поиска по принятым критериям [9-12].

Такая проектная ситуация наиболее характерна при разработке генеральных планов производственных комплексов, в частности, машиностроительной, нефтегазоперерабатывающей и некоторых других отраслей промышленности.

В начале задача поиска оптимального взаиморасположения объектов относительно друг друга решается в некоторой локальной системе координат. После ее решения производится пересчет полученных координат расположения объектов в абсолютную систему координат, связанную с соответствующими геодезическими отметками.

Важным условием проектирования схем генеральных планов предприятий является выполнение требований по регламентированным минимально допустимым расстояниям между объектами на про-свет.

Получим необходимые для оптимизационного синтеза схем критериальные и целевую функции.

Критериальную функции. K_c , характеризующую количественно качество схем расположения объектов по затратам на создание и эксплуатацию коммуникационных связей, запишем в виде следующую зависимость [9]:

$$K_c(V) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_{ij}^c(V), \quad (1)$$

где $k_{ij}^c = c_{ij} f_{ij}(V)$ -

- относительные коммуникационные затраты между i -м и j -м объектами; c_{ij} - уровень удельных коммуникационных затрат между i -м и j -м объектами; f_{ij} - длина коммуникаций, измеряемая при оптимизационном синтезе по кратчайшему расстоянию между центрами геометрических образов i -го и j -го объектов; V - вектор координат x_i, y_i и x_j, y_j центров i -го и j -го объектов размерностью $4n \times 1$:

$$V = (x_i, y_i; x_j, y_j);$$

n - число объектов рассматриваемой производственной структуры.

Координаты x и y центров геометрических образов i -го и j -го объектов являются в рассматриваемой оптимизационной задаче свободными параметрами синтеза ($i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$).

Зуга Игорь Михайлович – член Совета Федерации Федерального Собрания РФ, канд. техн. наук, тел. 8-904-824-9898

Хомченко Василий Герасимович – ОмГТУ, д-р техн. наук, профессор, тел. 8-913-615-3791

В качестве геометрических образов объектов в зависимости от конфигурации объектов принимаются либо окружности, либо прямоугольники, охватывающие контуры объектов в плане.

Уровень удельных коммуникационных затрат c , оценивается в абсолютных или в относительных единицах (например, в баллах по принятой шкале).

Для оценки площади территории, занимаемой размещаемыми объектами проектируемого предприятия, будем использовать критерий K_f [10], представляющий собой площадь выпуклого многоугольника, охватывающего центры геометрических образов объектов (рис. 1). Критерий K_f , определяется как сумма площадей треугольников, образованных отрезками, соединяющими некоторый полюс многоугольника с центрами геометрических образов объектов, образующих выпуклый многоугольник, и сторонами многоугольника [13].

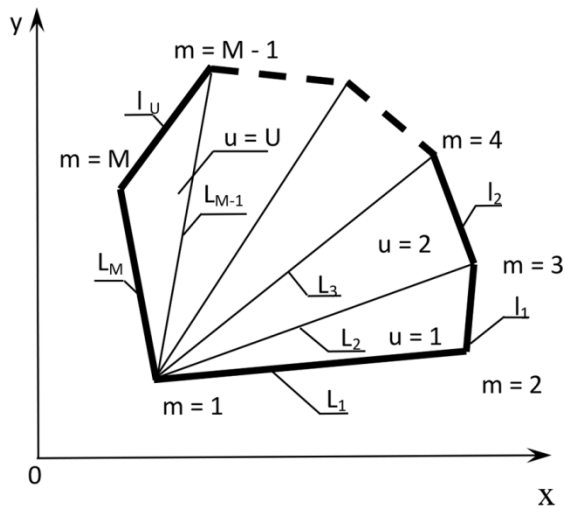


Рис. 1. Расчетная схема площади выпуклого многоугольника

Необходимо отметить, что расчет площади выпуклого многоугольника имеет определенные трудности, связанные с необходимостью перманентного поиска на каждом шаге итерации координат центров именно тех объектов, которые образуют на данном шаге итерации выпуклый многоугольник.

Для автоматического вычисления площади выпуклого многоугольника (критерия K_f) в условиях возможной смены вершин, образующих многоугольник, необходимо принять вполне определенную последовательность этой процедуры.

В качестве полюса m_1 разбиения многоугольника на треугольники будем использовать нижнюю точку многоугольника (рис. 1), для определения которой применим условие:

$$y_{m1} = \min(y_i), \quad (i=1, \dots, n);$$

где y_{m1} - ордината нижней точки выпуклого многоугольника в текущей итерации.

Критерий качества схемы расположения объектов из условия минимизации площади территории (площади выпуклого многоугольника) будет равен:

$$K_f(V_M) = \sum_{u=1}^{U} k_u^f(V_M), \quad (2)$$

где k_u^f - площадь u -го треугольника ($u=1, \dots, U$); нумерация треугольников ведется в направлении против часовой стрелки относительно полюса m_1 разбиения); V_M - вектор координат v_m и w_m центров объектов, образующих выпуклый многоугольник ($V_M = (v_m, w_m)$); U - число треугольников, составляющих выпуклый многоугольник.

Непосредственно из рис. 1 видно, что $U = M - 2$,

где M - число вершин выпуклого многоугольника.

Площадь k_u^f u -го треугольника определим по величине его полупериметра и сторон, а именно:

$$k_u^f = \sqrt{p_u(p_u - L_m)(p_u - l_u)(p_u - L_{m+1})},$$

где: $p_u = 0.5(L_m + l_u + L_{m+1})$ - ($u = 1, \dots, U; m = 1, \dots, M - 2$);

- полупериметр u -го треугольника; L_m и l_u - длины соответственно стороны u -го треугольника, выходящей из полюса m_1 , и стороны, противолежащей этому полюсу:

$$L_m = \sqrt{(x_{m1} - v_{m+1})^2 + (y_{m1} - w_{m+1})^2}; \quad (m = 1, \dots, M - 1);$$

$$l_u = \sqrt{(v_{m+2} - v_{m+1})^2 + (w_{m+2} - w_{m+1})^2}; \quad (u = 1, \dots, U; m = 1, \dots, M - 2).$$

Обратим внимание на две особенности целевой функции (2), важные с точки зрения влияния на нее свободных параметров синтеза и возможного ее предельного минимального значения.

Первая особенность: параметрами критериальной функции (2) являются лишь координаты центров тех объектов, которые образуют вершины выпуклого многоугольника на данной вычислительной итерации.

Это обстоятельство делает рассматриваемую в данной работе оптимизационную задачу принципиально отличной от известных задач нелинейного программирования, а именно, поиск минимума критериальной функции при переменном составе ее свободных параметров.

Вторая особенность: при принятых допущениях предельное минимальное значение критериальной функции (2) равно нулю, что соответствует расположению всех центров геометрических образов объектов на одной прямой линии и вырождению многоугольника в отрезок на этой прямой. Такое решение не является тривиальным, поскольку и в этом случае должны выполняться дополнительные условия синтеза. С учетом концепции идеализированного проектирования [14] это решение может быть принято в качестве окончательного, если оно не будет противоречить другим требованиям технологического, экологического, либо какого-то иного характера.

Длина периметра является одним из показателей, характеризующих компактность территории, занимаемой предприятием. Этот показатель может оказывать заметное влияние на экономичность создания производственной системы в случае необходимости строительства некоторых защитных сооружений, обхода территории данного предприятия магистральными коммуникациями и т. п.

Имея в виду ранее принятые допущения, в качестве критерия, адекватно отражающего в оптимизационном процессе длину периметра занимаемой предприятием территории, будем считать сумму сторон выпуклого многоугольника [11], образованного центрами геометрических образов тех объектов, которые создают этот выпуклый многоугольник (рис.1). Таким образом, критерий качества схемы расположения объектов из условия минимизации периметра может быть рассчитан по формуле:

$$K_p(V_M) = \sum_{m=1}^{M-1} \sqrt{v^2 + w^2} + L_M, \quad (3)$$

где $v = v_{m+1} - v_m$; $w = w_{m+1} - w_m$;

$$L_M = \sqrt{(v_M - x_{m_1})^2 + (w_M - y_{m_1})^2}.$$

Одним из важных параметров, характеризующих компактность размещения объектов на территории, является расстояние между наиболее удаленными друг от друга объектами. Без потери общности в качестве критерия K_g , отражающего габаритный размер территории, примем максимальное расстояние l_{ij} между центрами геометрических образов таких объектов [12], а именно:

$$K_g = \max l_{ij} (i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n) \quad (4)$$

Рассматриваемые в данной работе четыре критерия являются на достаточном удалении от их оптимальных значений согласными – минимизация одной целевой функции сопровождается минимизацией остальных трех. Однако в области, близкой к глобальному минимуму, картина меняется и критерии (1) - (4) становятся противоречивыми.

С учетом изложенного оптимизационное проектирование схем размещения объектов в условиях многокритериальности предлагается вести в соответствии с комплексной целевой функцией, представляющей собой линейную комбинацию ранее принятых критериальных функций (1) - (4) и некоторой функции штрафа $S(V)$ [15]:

$$Z = \frac{k_c}{k_{nc}} K_c(V) + \frac{k_f}{k_{nf}} K_f(V_M) + \frac{k_p}{k_{np}} K_p(V_M) + \frac{k_g}{k_{ng}} K_g(V) + pS(V), \quad (5)$$

где k_c, k_f, k_p, k_g и $k_{nc}, k_{nf}, k_{np}, k_{ng}$ - соответственно весовые и нормирующие коэффициенты критериальных функций; p - коэффициент, позволяющий регулировать влияние функции штрафа

$S(V)$ на рельеф целевой функции (5) для улучшения сходимости вычислительного процесса.

Решение оптимизационной задачи (5) в общем виде можно представить следующем образом:

$$Z_{min} = \min_{V, V_M \in W} Z(V, V_M),$$

где W - область допустимых значений свободных параметров синтеза x_i, y_i , определяемая функцией штрафа $S(V)$.

Весовые коэффициенты k_c, k_f, k_p, k_g дают возможность учитывать предпочтения лица, принимающего решения, вплоть до формирования необходимого состава критериев, придавая соответствующим коэффициентам значения, равные нулю. Необходимо иметь в виду, что значения весовых коэффициентов должны отвечать условию $k_c + k_f + k_p + k_g = 1$.

Коэффициенты $k_{nc}, k_{nf}, k_{np}, k_{ng}$ выполняют важную нормирующую роль, позволяющую исключить негативное влияние на сходимость вычислительного процесса того факта, что критериальные функции (1) - (4) имеют разную размерность, а их абсолютные значения могут отличаться друг от друга на порядок и более. Значения нормирующих коэффициентов должны быть назначены проектировщиком таким образом, чтобы обеспечить в ходе итерационного поиска сопоставимый диапазон изменения первых четырех слагаемых целевой функции (5). Например, если территорию возможного расположения объектов производственного комплекса можно принять близкой к квадратной размером 100×100 м², то можно рекомендовать следующие значения коэффициентов: $k_{nf}=10000$ м², $k_{np}=400$ м, $k_{ng}=200$ м.

Коэффициент k_{nc} , нормирующий коммуникационные затраты, должен зависеть не только от расстояний между объектами, но и от уровня удельных коммуникационных затрат между каждой парой объектов. В связи с этим в качестве значения коэффициента k_{nc} в данной работе принимается такое значение относительных или абсолютных (в зависимости от принятой размерности уровня затрат) коммуникационных затрат, которое бы они имели при идеальном выполнении регламентированных минимально допустимых расстояний на просвет для всех без исключения пар объектов, то есть:

$$k_{nc} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_{ij}^c(V),$$

где $k_{ij}^c = c_{ij} d_{ij}(V)$;

d_{ij} - регламентированное минимально допустимое расстояние между объектами на просвет.

Работоспособность предложенного подхода к формированию комплексной целевой функции (5) подтверждена решением ряда тестовых примеров.

Приведем решение одного из тестовых примеров в локальной системе координат.

Пусть требуется найти оптимальное по приведенным выше четырем критериям размещение пяти объектов при следующих исходных данных:

- размеры объектов в плане (табл. 1);
- уровни удельных затрат (табл. 2);
- регламентированные минимально допустимые расстояния между объектами на просвет (табл. 3);

- нормирующие коэффициенты: $k_{nf}=10000 \text{ м}^2$, $k_{np}=400 \text{ м}$, $k_{ng}=200 \text{ м}$.

Сходимость вычислительного процесса в ходе оптимизационного поиска существенным образом зависит от принятого начального решения. В связи с этим для проверки устойчивости хода вычислительного процесса выполним решение поставленной оптимизационной задачи при двух вариантах начального расположения центров геометрических образов объектов: первый вариант (табл. 4); второй вариант (табл. 5).

Первый вариант характеризуется тем, что в начальном положении объекты находятся на близком расстоянии друг от друга с нарушением регламентированных минимально допустимых расстояний.

Во втором варианте объекты в начальном положении наоборот расположены заведомо на больших расстояниях друг от друга, чем это необходимо исходя из минимально допустимых расстояний между ними.

Таблица 1

Размеры объектов в плане, м: a – размеры объектов в направлении оси абсцисс; b – размеры объектов в направлении оси ординат

№ объектов	1	2	3	4	5
a	40	20	60	40	30
b	20	20	40	40	10

Таблица 2

Уровни удельных затрат

№ объектов	1	2	3	4	5
1	-	2	20	15	1
2	-	-	1	18	16
3	-	-	-	5	10
4	-	-	-	-	3

Таблица 3

Регламентированные минимально допустимые расстояния между объектами на просвет, м

№ объектов	1	2	3	4	
1	-	70	100	110	60
2	-	-	45	150	130
3	-	-	-	80	95
4	-	-	-	-	20

Таблица 4

Координаты x , y начального расположения центров геометрических образов объектов, м (первый вариант)

№ объектов	1	2	3	4	5
x	80	60	110	140	120
y	100	130	150	125	90

Таблица 5

Координаты x , y начального расположения центров геометрических образов объектов, м (второй вариант)

№ объектов	1	2	3	4	5
x	40	0	100	250	200
y	10	150	220	150	50

Для расчета критериальных функций $K_c(V)$, $K_f(V_M)$, $K_p(V_M)$ и $K_g(V)$ и функции штрафа $S(V)$ составлена соответствующая программа в пакете MathCAD. Поиск оптимизированных схем расположения объектов велся с использованием блока Given-Minimize этого пакета.

Значения критериальных функций $K_c(V)$, $K_f(V_M)$, $K_p(V_M)$ и $K_g(V)$, найденные в результате оптимизационного поиска для рассмотренных вариантов, представлены в табл. 6. Из табл. 6 следует, что оптимизированные значения этих функций, полученные, по сути, из противоположных по отношению к оптимальному расположению объектов начальному решению, практически совпадают, что подтверждает устойчивость движения итерационного процесса к минимумам комплексной целевой функции (5) и частных критериальных функций (1), (2), (3) и (4).

Таблица 6
Оптимизированные значения критериальных функций

Критерии	$K_c(V)$	$K_f(V_M)$	$K_p(V_M)$	$K_q(V)$
Вариант № 1	14340	16750	511,8	192,4
Вариант № 2	14400	16770	512,0	192,4

В табл. 7 и 8 приведены значения координат оптимизированного расположения объектов соответственно для первого и второго вариантов, а на рис. 2 выпуклые многоугольники, в вершинах которых находятся центры геометрических образов объектов. На рис. 2 изображены первый и второй варианты решения задачи, при этом начальные решения отмечены штриховыми линиями, а оптимизированные – сплошными. Центры первых объектов в начальном и оптимизированном положениях соединены тонкими сплошными линиями, нумерация объектов ведется по часовой стрелке. Отметим, что оба варианта решения обеспечивают требования по заданным минимально допустимым расстояниям (табл. 3) между объектами на просвет.

Таблица 7
Координаты x , y оптимизированного расположения центров геометрических образов объектов, м (первый вариант)

№ объектов	1	2	3	4	5
x	687,5	19,819	92,6	211,1	165,4
y	32,70	127,90	189,3	106,8	61,70

Таблица 8
Координаты x , y оптимизированного расположения центров геометрических образов объектов, м (второй вариант)

№ объектов	1	2	3	4	5
x	50,173	0,003	71,37	191,7	147,2
y	10,795	104,7	161,8	88,17	42,05

Из анализа табл. 7 и 8 и рис. 2 можно сделать вывод, что в результате оптимизации при разных начальных решениях получено два практически одинаковых взаиморасположения объектов относительно друг друга, но в различных местах локальной системы координат, что и является одним из доводов использования локальных систем координат на первом этапе синтеза схем расположения объектов.

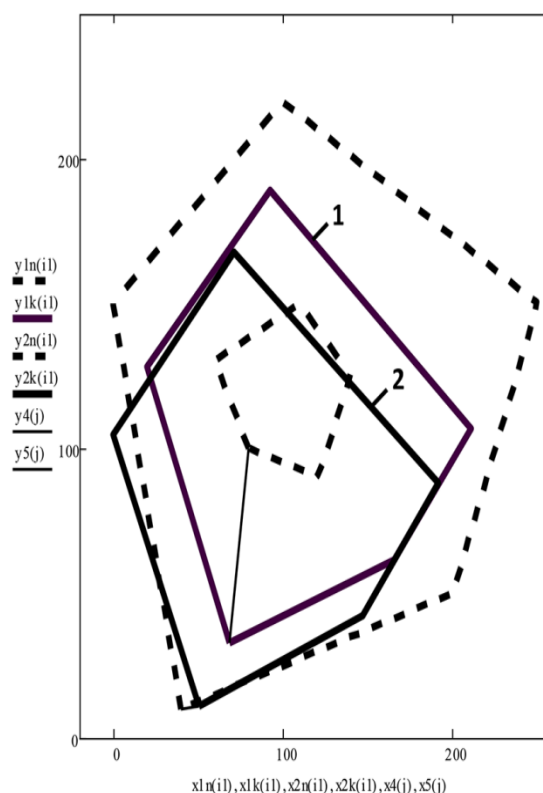


Рис. 2. Многоугольники, стороны которых соединяют центры геометрических образов объектов в начальных и оптимизированных положениях: 1 – первый вариант решения; 2 – второй вариант решения

В заключение отметим, что полученная в данной работе комплексная целевая функция (5), представляющая собой, по сути, математическую модель многокритериальной оптимизации схем размещения объектов предприятий, является основой для разработки на машинных языках высокого уровня системы автоматизированного проектирования генеральных планов производственных комплексов.

Литература

1. Козловский, В. А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем [Текст] / В. А. Козловский. – Л.: ЛГУ, 1981. – 216 с.
2. Курейчик, В. М. Комбинаторные аппаратные модели и алгоритмы в САПР [Текст] / В. М. Курейчик, В. М. Глушань, Л. И. Щербаков. – М.: Радио и связь, 1990. – 216 с.
3. Gilmore, P. C. Optimal and suboptimal for the quadratic assignment problem [Text] / P.C. Gilmore // T. Sos. for Ind. and Appl. Math. – 1962. – Vol. 10. – June. – P. 305-313.
4. Gordon, C. A. Heuristic algorithm and Simulation approach to relative location of facilities [Text] / C. A. Gordon, S. B. Elwood // Management Science. – 1963. – Vol. 9, No 2. – P. 294-309.
5. Hillier, F. S. Quantitative Tools for Plant Layout [Text] / F. S. Hillier // J. Indust. Eng. – 1963. – No 9. – P. 41-45.
6. Koopmans, T. C. Assignment Problems and the Location of Economic Activities [Text] / T.C. Koopmans,

Beckman // *Econometrica*. – 1957. – Vol. 25, No 1. – P. 53-76.

7. Забудский, Г. Г. Оптимизация размещения технологического оборудования на генплане [Текст] / Г. Г. Забудский, Н. В. Колмычевская, Т. В. Леванова // Тезисы докладов X Всесоюзного симпозиума по системам программного обеспечения решения задач оптимального планирования. – М., 1988. – С. 148.

8. Забудский, Г. Г. Об оценках стоимости связывающей сети в некоторых задачах размещения [Текст] / Г. Г. Забудский // Дискретная оптимизация и анализ сложных систем: сб. науч. тр. / под ред. А. А. Колоколова. – Новосибирск, 1989. – С. 10-25.

9. Зуга, И. М. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации коммуникационных затрат [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Омский научный вестник. – Сер. Приборы, машины и технологии. – 2009. – №3 (83). – С. 96-99.

10. Зуга, И. М. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации занимаемой ими площади [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Омский научный вестник. – Сер. Приборы, машины и технологии. – 2011. – №2 (90). – С. 163-167.

11. Зуга, И. М. Проектирование схем размещения объектов из условия минимизации периметра занимаемой ими территории [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко; ОмГТУ. – Омск, 2009. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ 13.05.2009, №348-B2009.

12. Зуга, И. М. Проектирование схем размещения объектов из условия минимизации габаритных размеров занимаемой территории [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко; ОмГТУ. – Омск, 2009. – 7 с. – Деп. в ВИНТИ 13.05.2009, №425-B2009.

13. Гилой, В. Интерактивная машинная графика: структура данных, алгоритмы, языки [Текст]: пер. с англ. / В. Гилой. – М.: Мир, 1981. – 384 с.

14. Грундиг, К.-Г. Проектирование промышленных предприятий. Принципы. Методы. Практика [Текст]: пер. с нем. / К.-Г. Грундиг. – М.: Альпина Бизнес БУКС, 2007. – 340 с.

15. Зуга, И. М. Формирование функции штрафа при автоматизированном проектировании схем расположения объектов производственных комплексов [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Омский научный вестник. – Сер. Приборы, машины и технологии. – 2013. – №1 (117). – С. 114-118.

Совет Федерации Федерального собрания РФ
Омский государственный технический университет

MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF PROCESS FACILITIES ARRANGEMENT DIAGRAMS

I.M. Zuga, V.G. Khomchenko

This article proposes a method for multicriteria optimization of various industries process facilities arrangement. Arrangement optimization is performed taking into account minimum expenses for communication links between facilities, areas, perimeter, and the size of the area occupied by the designed complex. An example of multi-criteria optimization is provided herein

Key words: scheme, relative positions, objects, optimization

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧАСТИЕМ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОМПАНИЙ

В.Ф. Барабанов, С.Л. Кенин, С.Л. Подвальный, В.В. Сафронов

В статье рассмотрены современные подходы и практические примеры организации совместной подготовки специалистов международными ИТ-компаниями и Воронежским государственным техническим университетом

Ключевые слова: информационные технологии, учебный центр, информационно-коммуникационные и компьютерные технологии

Введение

В настоящее время проблемы подготовки высококвалифицированных специалистов в сфере информационных технологий (ИТ) в основном связаны с относительной новизной и стремительностью развития данной объектной области, разнообразием квалификационных требований, предъявляемых к специалистам, необходимостью обеспечения современной материальной базы подготовки, сложностью организации профессиональной практики студентов и т.д.

Формализация проблемы и методов её решения.

К сожалению, существует наличие разрыва между количественным и качественным уровнем подготовки выпускаемых вузами специалистов, с точки зрения соответствия требованиям современного ИТ-рынка труда. Данные требования включают не только высокий уровень фундаментальной подготовки, который требуется обеспечить студенту в рамках образовательного процесса, а во все более остро востребованные рынком компетенции специалистов в области владения конкретными видами быстро развивающихся и вновь появляющихся современных технологий. Для решения этой задачи образовательные технологии, замыкающиеся только на существующие классические университетские образовательные программы, ориентированные на фундаментальную подготовку студентов, оказываются недостаточными, что приводит к потере конкурентоспособности выпускников вуза.

Действенной и апробированной формой организации взаимовыгодного сотрудничества, на наш взгляд, является создание университетских Учебных Центров при поддержке ИТ-компаний. Создание таких центров может осуществляться и с чисто прагматической целью, ориентированной на дополнительную целевую подготовку студентов с

последующим привлечением для работы в компании выпускников данных вузов. Наряду с решением задач непосредственного взаимодействия с конкретными компаниями, подобные Центры могут в значительной степени содействовать и решению общих стратегических проблем подготовки для отрасли в целом ИТ-специалистов.

Подобные Учебные Центры, создаваемые в университетах при поддержке ИТ-компаний, способны интегрировать лучшие профессорско-преподавательские кадры, скоординированная деятельность которых будет способствовать формированию содержательных учебных образовательных программ подготовки высококвалифицированных специалистов в области ИТ.

Создание Учебных Центров реализует цель решения комплексной проблемы формирования, в частности, в ВГТУ стабильной системы подготовки квалифицированных специалистов в области современных компьютерных технологий для предприятий и организаций информационной индустрии. Деятельность Учебных Центров должна быть направлена на:

- анализ существующих в стране принципов подготовки специалистов в области современных компьютерных технологий (стандартов Минобрнауки РФ подготовки специалистов, учебных планов подготовки в ведущих вузах страны) и разработку комплекса рекомендаций по совершенствованию учебных планов и программ образовательного процесса;

- формирование программ и разработка новых образовательных комплексов по современным ИТ направлениям;

- проведение конференций, семинаров, конкурсов образовательных и научных проектов по тематике научных исследований;

- организацию финансовой поддержки в виде дополнительных стипендий и грантов занимающимся научной работой и отлично успевающим студентам, аспирантам и молодым ученым;

- выполнение под руководством ведущих ученых учебно-исследовательских работ студентами и аспирантами в рамках научных

Барабанов Владимир Федорович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: bvf@list.ru

Кенин Сергей Леонидович – Atos (г. Воронеж), канд. техн. наук, e-mail: sergey.kenin@atos.net

Подвальный Семен Леонидович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: spodvalny@yandex.ru

Сафронов Виталий Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, e-mail: safronov.vitaliy@mail.ru

направлений вуза, согласованных по тематике с ИТ-компанией,;

- углубление интеграции образовательного процесса с научными исследованиями и внедрение эффективных форм сотрудничества с предприятиями в процессе подготовки и трудоустройства выпускников,;

- развитие дополнительного профессионального образования по направлению информационных и компьютерных технологий (ИКТ);

- организационно-методическое обеспечение формирования ИКТ компетентности всех участников учебно-научного процесса;

- развитие системы дистанционного образования и сетевого взаимодействия.

Функционирование университетского комплекса неразрывно связано с развитием единой информационно-образовательной среды, обеспеченной высокоскоростной сетью передачи данных, расширением технической базы дистанционных образовательных технологий.

Технологической основой формирования современных компетенций выпускников и преподавателей должна стать комплексная информатизация учебно-научного процесса, широкомасштабное развертывание системы технического и методического обеспечения информационных технологий и дистанционного обучения.

В связи с развитием ИКТ в сфере образования и включением новых форм подготовки специалистов (дистанционных технологий, единых образовательных сред, вебинаров) необходимо учитывать, что данные технологии формировались на протяжении последних лет с разной степенью интенсивности и на различных программных платформах. Поэтому актуальной задачей развития образовательной среды становится обновление и объединение образовательного контента и создание общей траектории становления профессиональной зрелости специалиста, помогающей ориентироваться в содержательных компонентах, быстро получать доступ к необходимому образовательному или программному ресурсу.

Следует отметить, что мировая отрасль ИКТ и сама осознала все имеющиеся в области образования проблемы и начала активно действовать. Сегодня свои услуги предлагают профильные учебные центры, создаются учебные подразделения при крупных компаниях. Ведущие кампании принимают участие в вузовских проектах по организации подготовки специалистов по новым направлениям. В мире, помимо академического вузовского образования, сформировалась система корпоративной профессиональной подготовки и переподготовки в ИКТ-сфере. Практически всеми ведущими ИКТ-вендорами (Microsoft, Oracle, IBM,

Sun, Cisco и др.) разработано огромное число учебных курсов в рамках конкретных направлений, связанных с реализацией своих продуктов и технологий, обучение по которым ведется через систему авторизованных учебных центров, в том числе и организованных на базе вузов. Очевидно, что вузам, занимающимся подготовкой специалистов в области компьютерных технологий, необходимо перестроиться в плане восприятия подобных предложений со стороны ИТ-компаний.

Воронежский государственный технический университет в последние годы ориентирует свою деятельность в направлении решения этой актуальной проблемы. В 2005 году был подписан рамочный договор между ВГТУ и ООО «АтосАйТиСоллюшенс энд Сервисез» (ранее Сименс) о создании в университете Центра подготовки специалистов (на базе кафедры автоматизированных и вычислительных систем ВГТУ). Обучение ведется по согласованным двумя сторонами учебным планам, которые составлены с учетом требований работы в конкретных проектах воронежского филиала компании Атос, причем студенты занимаются вне рамок основной образовательной программы. Программа носит межфакультетский характер – в ней участвуют студенты различных факультетов университета.

Обучение студентов проводится как силами преподавательских кадров Университета, так и привлеченных ведущих специалистов компании, людей обладающими большим практическим опытом и глубокими знаниями в специализированных областях информационных технологий по специальной программе, разработанной в соответствии с требованиями компании Атос, предъявляемыми к специалистам в области информационных технологий и бизнес-процессов. Одним из основных направлений является подготовка специалистов по удаленному сопровождению программного обеспечения (ApplicationManagementServices).

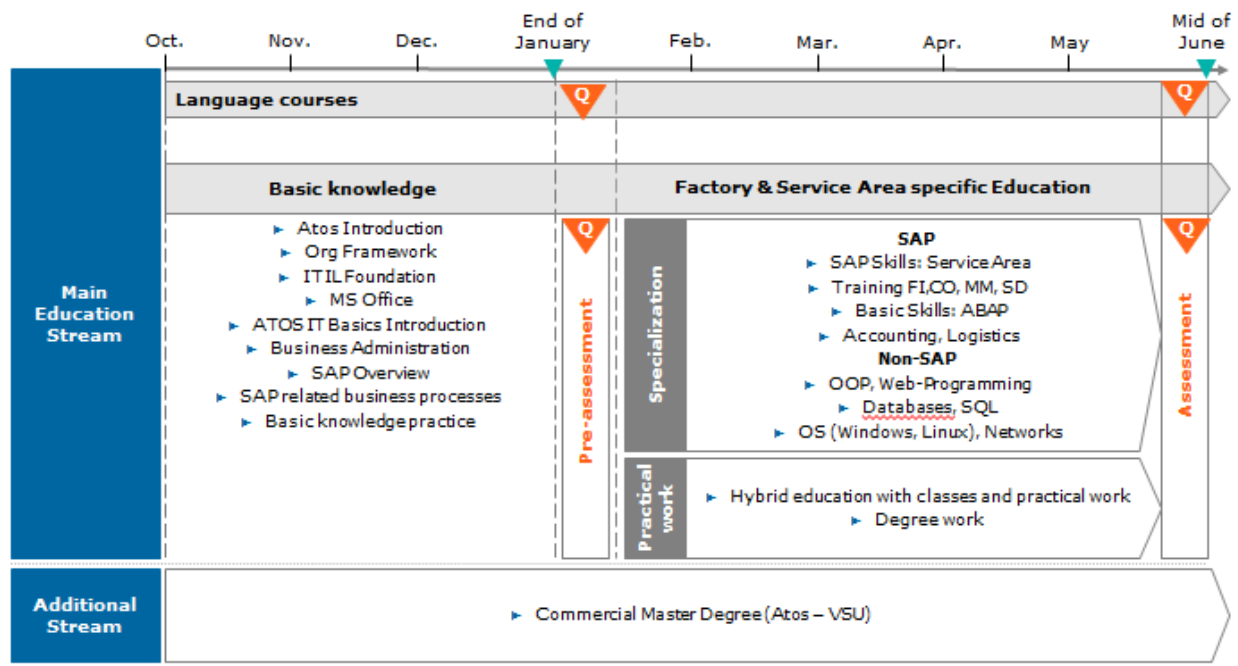
Кроме того, в рамках образовательного процесса Воронежского государственного технического университета используется PLM система от SiemensPLMSoftwareInc (грант SiemensGOPLM, 2010г.).

Получение данного гранта позволило Университету включить технологии PLM в различные курсы учебных планов по самым разным специальностям. В результате партнер ВГТУ – компания АтосАйТиСоллюшенс энд Сервисез – получает на выходе специалистов, востребованных на рынке труда (региональном, международном и российском).

В соответствии с двухсторонним договором об оказании услуг подготовки кадров и на основании конкурсного отбора в ВГТУ формируются 1-2 группы по 15 человек из студентов старших курсов.

The concept of Educational Center – to recruit best students at any time during the year

29/07/2015



Atos

В 2014- 2015 учебном году сформированы 2 группы по 15 человек: группа системных администраторов и группа удаленного сопровождения программного обеспечения. На рисунке показан основной концепт процесса обучения.

В целях обеспечения качества преподавания и эффективности обучения общая продолжительность подготовки слушателя учебного центра составляет девять месяцев (два семестра) и в целом совпадает с университетским учебным годом. В первом семестре дается базисный набор учебных дисциплин, который важен для любого сотрудника компании, вне зависимости от проекта, в который он потом попадет. После первого семестра проводится промежуточные собеседования со всеми слушателями и определяется дальнейшая специализация будущего сотрудника. Соответственно, во втором семестре обучение строится в зависимости от специализации студента, по различным направлениям

Помимо технических дисциплин большое внимание уделяется углубленному изучению иностранных языков (английский и немецкий). Компания Атос инвестирует средства как в обучение и инфраструктуру, так и непосредственно в стипендии самих сотрудников, выплачивая слушателям учебного центра 5 тысяч рублей ежемесячно в течение всего периода обучения. Обучение ведется в специализированных лабораториях ВГТУ с применением современных

программных и технических средств [1-8], кроме того большое внимание уделяется прохождению производственных практик на базе воронежского филиала компании «АтосАйТиСолюшенс энд Сервисез».

Заключение

Дополнительными направлениями сотрудничества и партнерства между Вузом и ИТ-компания могут являться и другие перспективные виды совместной работы - например, такие как создание корпоративной магистратуры по программе, разработанной совместно, а также создание совместных кафедр, специализирующейся на каких-либо востребованных современных технологиях или процессах. Для высокоэффективной работы кафедры необходима совместная разработка программ обучения на основе государственных образовательных стандартов, но с включением в вариативную часть специализированных дисциплин и привлечение ведущих сотрудников ИТ-компания с большим практическим опытом для проведения курсов, мастер-классов и семинаров в рамках работы данной кафедры.

Литература

1. Барабанов В.Ф. Основы программирования на языке JAVA [Текст]/ В.Ф. Барабанов, С.Л. Подвальный, К.Г. Хмелевской. – Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2008. – 112 с.

2. Барабанов В.Ф. Основы автоматизации проектирования, тестирования и управления жизненным циклом изделий [Текст] / В.Ф. Барабанов, А.Д. Поваляев, С.Л. Подвальный, С.В. Тюрин. – Воронеж: «Научная книга», 2011. –165 с.

3. Сафронов, В.В. Анализ архитектуры развертывания PLM систем [Текст] / В.В. Сафронов, В.Ф. Барабанов, С.Л. Кенин // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7, № 10. – С.69-73.

4. Podval'ny, S.L. Intelligent modeling systems: Design principles / S.L. Podval'ny, T.M. Ledeneva // Automation and Remote Control. - 2013. - Vol. 74. - №7. - P.1201-1210.

5. Barabanov A.V. Structural modeling of continuous multi-center polymerization processes / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. - 2012. - Т. 73. - № 7. - С. 1265-1268.

6. Акинин А.А. Сравнительная оценка вычислительных алгоритмов полиномиального

преобразования булевых функций [Текст] / А.А. Акинин, С.Л. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 1. - С. 31-35.

7. Подвальный С.Л. Сопряженные системы и градиент при оптимизации динамических систем [Текст] / С.Л. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2012. - Т. 8. - № 12-1. - С. 57-62.

8. Подвальный С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 5-1. - С. 41-43.

Воронежский государственный технический университет
Atos (г. Воронеж)

CURRENT ISSUES TRAINING HIGHLY QUALIFIED SPECIALISTS IN THE SPHERE OF INFORMATION TECHNOLOGIES WITH PARTICIPATION OF INTERNATIONAL ENTERPRISES

V.F. Barabanov, S.L. Kenin, S.L. Podvalniy, V.V. Safronov

In the article the modern approaches and practical examples of organizing joint training of specialists international IT companies and Voronezh State Technical University

Key words: information technology training center, information and communication and computer technologies

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

А.В. Аристов

В статье обсуждаются проблемы обеспечения интероперабельности в системах формирования стандартизированных профилей. Предложена архитектура, на основе которой могут быть построены Web 3.0. платформы, обладающие свойством открытых систем, обеспечивающие хранение нормативной документации в распределенной среде и сборку на их основе стандартизированных профилей

Ключевые слова: открытые информационные системы, интероперабельность, архитектура, семантическая сеть

Стандартизированный профиль представляет собой согласованную совокупность нескольких (или подмножество одного) нормативно-технических документов (стандартов и спецификаций), ориентированную на решение определенной задачи (реализацию заданной функции либо группы функций приложения или среды) [1,2].

Среда формирования стандартизированного профиля является децентрализованной с распределенным гетерогенным хранилищем документов, представленным в различных форматах и с различными условиями доступа, требующие, в общем случае, дополнительных мер по их адаптации к решаемым задачам и обеспечению интеграции с другими документами профиля. Процесс формирования профиля сложной системы требует использования множества источников нормативной документации, каждый из которых может формироваться и поддерживаться различными владельцами, храниться в различных точках глобальной сети.

Возникающая естественная децентрализация процессов в сфере стандартизации приводит к ряду проблем, на решение которых направлена предложенная в статье архитектура.

Документами, определяющими общие положения исследования по направлению открытых информационных систем и, в частности, интероперабельности является разработанный ИРЭ РАН им. Котельникова единый подход к обеспечению интероперабельности, зафиксированный в ГОСТ Р 55062-2012 «Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» [3] и методология технической самоорганизации информационных систем, разрабатываемая под

руководством чл.-корр. РАН Кондратьевым В.В. в НГТУ им. Алексеева [4,5].

В ходе системного анализа области стандартизации и проектирования систем автоматизации сборки стандартизированных профилей были выявлены следующие задачи, в рамках которых необходимо обеспечивать интероперабельность компонент и процессов:

- управление децентрализованным хранилищем документов,
- взаимодействие различных программно-аппаратных платформ,
- применение различных форматов представления электронных вариантов нормативных документов,
- многообразие условий доступа к документам.

Для решения задачи управления децентрализованным хранилищем документов, как правило, дополнительно формируется централизованная база данных, выполняется перенос электронных документов из хранилищ-источников. При таком подходе интероперабельность не может быть обеспечена, поскольку возникают существенные затраты времени и средств на согласование и разработку дополнительных структур хранения информации, возникает избыточность за счет дублирования документов. Кроме всего, должна обеспечиваться синхронизация с многочисленными источниками, в случае появления новых версий или дополнений к существующей нормативной базе.

При работе с базой спецификаций как с распределенным источником, возникают проблемы согласования интерфейсов многочисленных платформ, обеспечивающих хранение электронных документов с интерфейсами компонент проектируемой системы формирования стандартизированного профиля. На этом уровне существуют интероперабельные решения, регламентируемые моделью OSI и обеспечивающие удаленный доступ к файлам. Узким местом такого подхода

является невозможность обработки распределенного хранилища файлов как единой базы данных в связи с отсутствием:

- общей модели хранения данных нормативных документов,
- сквозной идентификации документов и их частей,
- единых электронных классификаторов.

При работе с форматами представления нормативной базы требуется выработка общих моделей представления документа. Несмотря на то, что в большинстве случаев документы хранятся с разметкой, регламентируемой открытыми спецификациями ISO 32000, HTML 5 и др., существует большая часть спецификаций, представленная простыми текстовыми файлами, либо графикой без разметки, часть из них хранится в заархивированном виде, что существенно затрудняет обработку их содержимого.

Многообразие условий доступа к документам, определяется лицензионными соглашения об использовании нормативных документов в коммерческих или иных целях. Кроме того, различные организации предоставляют свои механизмы доступа к полнотекстовым вариантам: доступ через интерфейс, предлагаемый организаторами, через электронную почту по ссылке, пересылка бумажного варианта и др. В ряде случаев необходимы личные встречи, для согласования спорных вопросов, что приводит к дополнительным накладным командировочным расходам.

Требуется разработать архитектуру платформы, на основе которой могут быть созданы Интернет-сервисы, решающие выявленные проблемы интероперабельности на техническом, семантическом и организационном уровнях [6].

Архитектура строится по иерархическому принципу и включает в себя ядро, над которым реализован уровень базовых операций. Последним слоем является уровень функционального расширения, включающий интерфейс прикладного программирования API. Элементы архитектуры взаимодействуют в рабочей среде.

На рис. 1 показано архитектурное ядро и рабочая среда.

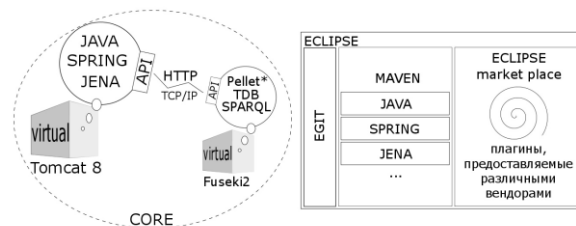


Рис. 1. Архитектурное ядро и рабочая среда

Ядро системы включает в себя сервер приложений Tomcat8, сервер среды описания ресурса RDF сервер Fuseki 2, представляющий точки доступа к данным спецификаций, представленных в формате Web-онтологий. Также сервер обеспечивает хранение баз знаний в формате базы данных триплетов TDB, работу систем логического вывода. В рамках ядра системы выполняется java-приложение выполненное на основе шаблона «модель-вид-контроллер» и механизмы обмена данными с системой управления Web-онтологиями JENA, некоторые сервисы и карту идентификаторов контроллеров для работы с клиентскими системами.

Рабочее пространство организовано на базе платформы Eclipse, поддерживающей системы контроля версий и сборки проектов.

Уровень базовых операций представлен на рис 2.

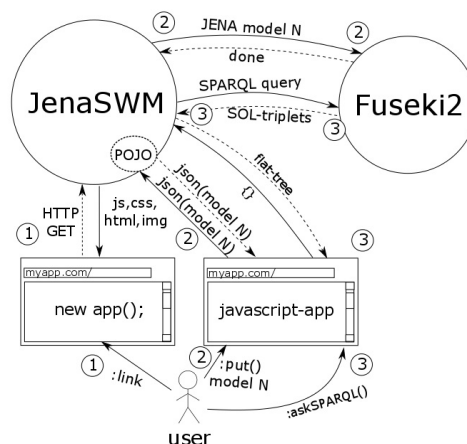


Рис. 2. Уровень базовых операций

В рамках уровня базовых операций выполняются следующие процессы:

1. Клиентом инициализируется ссылка, по которой доступна серверная часть системы, включающая контроллеры, модели, представления и сервисы. По этой ссылке отправляется соответствующий запрос, на который сервер реагирует передачей набора

статичных ресурсов в html разметке. Каркас html содержит код, который инициализирует javascript-приложение.

2. Клиент формирует модель с описанием структуры в формате json и передает ее на сервер в сериализованном виде.

3. Сервер, десериализует модель в простой java объект POJO-модель, у которой есть метод-конвертер, переводящий ее в JENA-модель, реализующую структуру онтологического графа в диалекте описания онтологий OWL-DL. JENA-модель отправляется сервером Fuseki2 на точку доступа, где с помощью средств структурированных запросов к онтологиям SPARQL выполняется построение онтологического графа.

4. Для получения всех сохраненных моделей в виде дерева на сервере был организован метод, реализующий SPARQL-запрос, возвращающий ответ в табличном представлении. Эта структура затем парсилась сервером в плоское дерево и передавалась на клиент, где отображалась на структуру, требуемую конкретному компоненту пользовательского интерфейса.

Предложенное архитектурное решение позволяет сформировать платформу, на которой может быть развернуто единое информационное пространство спецификаций, а также система сборки стандартизированных профилей на основе семантического описания его структуры. При этом узлы онтологического графа определяют конкретные документы и их блоки, идентифицируемые уникальными адресами в сети Интернет.

Недостатком является отсутствие механизма расширяемости по новым структурам и функциям, поскольку это потребует переборки всей системы с прерыванием ее работы. Для его устранения предназначен уровень функционального расширения, рис 3.

На стороне java-приложения была разработана общая POJO-модель, которая может отображать любые структуры, построенные в соответствии со спецификациями объектной нотации javascript JSON и OWL-DL. Семантика конечных моделей определяется каркасом [7]. Слой содержит API, позволяющий добавлять поддержку новых структур без перекомпиляции системы и блок управления моделями Model manager реализованный на платформе NodeJS, которая работает с интерпретируемым языком javascript, и движком GoogleV8, содержащим библиотеки, позволяющие приложениям NodeJS выполняться в качестве полноценного Web-сервера.

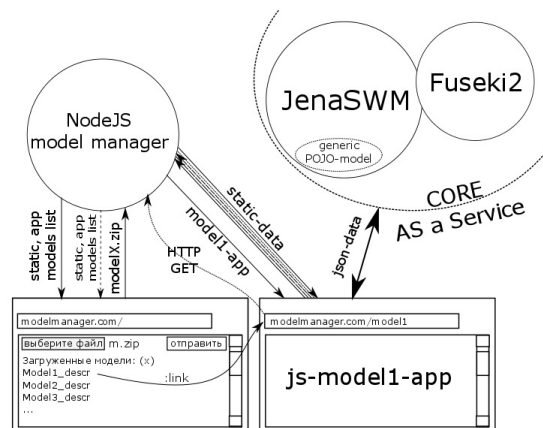


Рис.3. Уровень функционального расширения

Для экспериментальной проверки архитектурных решений был разработан прототип платформы формирования стандартизированных профилей на основе серверов Tomcat 8, Fuseki 2, NodeJS. Были получены следующие результаты:

1. Платформа обеспечивает интероперабельность с клиентскими системами на основе браузеров Google Chrome, Firefox, Internet Explorer.

2. Платформа расширяема по новым семантическим моделям, реализованным стандартными POJO и спецификацией OWL-DL.

3. Точка доступа Fuseki 2 позволяет обрабатывать Web-онтологии, расположенные на произвольных узлах сети Интернет и обладающих уникальными адресами.

4. Для обработки спецификаций, расположенных на различных узлах сети Интернет, они должны быть преобразованы в соответствии со спецификациями HTML5 или PDF с поддержкой. Было подготовлено порядка 50 моделей с описанием стандартизированных профилей, структура которых представлена в формате OWL-DL, доступ к которым осуществляется через 2 SPARQL точки. Спецификации, входящие в тестовые профили, расположены на серверах IETF, W3C, находятся в открытом доступе в форматах pdf и html с разметкой. По результатам тестовой проверки было сгенерировано 100% профилей.

5. Взаимодействие со всей совокупностью электронных файлов осуществляется как с единой базой данных, в единой системе идентификаторов и семантике, определяемой Web-онтологиями.

6. Доступ к электронным файлам настраивается на основе спецификации java spring security, поэтому все документы обрабатываются в режиме приложения как

сервис SaaS, что позволяет автоматизировать процедуру согласования лицензионных соглашений об использовании.

Предложенная архитектура устраняет выявленные проблемы и может использоваться при построении Интернет-платформы формирования стандартизированных профилей.

В рамках исследования был проведен анализ процессов формирования стандартизированных профилей, выявлены основные проблемы, связанные с разработкой систем поддержки формирования стандартизированных профилей. Предложена архитектура, позволяющая использовать распределенное хранилище электронных файлов документов как единую распределенную базу данных, семантика, ограничения и идентификация в которой реализована на уровне семантических моделей в формате Web-онтологий.

Предложенная модель может быть использована при разработки открытых информационных систем, Интернет-сервисов, SaaS, предназначенных для управления подготовкой нормативных документов, а также сборки стандартизированных профилей в сфере ИТ.

Литература

1. Бойченко, А.В. Основы открытых информационных систем [Текст] / А.В. Бойченко, В.К. Кондратьев, Е.Н. Филинов. – Издательский центр АНО «ЕОАИ». – М.: 2004. – 128 с.
2. Технология открытых систем / Под ред. А.Я. Олейникова. – М.: Янус-К, 2004, с. 288
3. ГОСТ Р 55062-2012 Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность.
4. Кондратьев В.В., Применение методов теории самоорганизации в задачах управления профилированием и конфигурированием вычислительных систем [Текст] / В.В. Кондратьев, Д.В. Жевнерчук // Доклады академии наук, том 459, №4, 2014. – С. 409-412
5. Kondratiev V.V., Zhevnerchuk D.V., Application of Methods of Self-Organization Theory to Problems of Profiling and Configuring Computational Systems [Text] / ISSN 1064-5624, Doklady Mathematics, 2014, Vol. 90, No. 3, pp. 788-190, Pleiades Publishing, Ltd., 2014
6. Журавлев, Е. Е. Интероперабельность в облачных вычислениях / Журавлев Е. Е., Иванов С. В., Каменщиков А. А., Олейников А. Я., Разинкин Е. И., Рубан К. А. // Журнал радиоэлектроники (электронный журнал). — 2013. — № 9 // Сайт ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru>, 2013. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/4/text.pdf> (дата обращения: 21.05.2014).
7. Жевнерчук, Д.В. Онтологический каркас поддержки профилирования вычислительных систем [Текст] / Д.В. Жевнерчук // Системы управления и информационные технологии: №2.1 (56). – Воронеж: ВГТУ, 2014. – С. 187-190

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

SYSTEM OF FORMING STANDARDIZED PROFILES INTEROPERABILITY

A.V. Aristov

The article discusses the problem of interoperability in systems of creation of standardized profiles. An architecture on which can be constructed Web 3.0. platform, having the property of open systems, providing storage of regulatory documents in a distributed environment, and builds standardized profiles on their basis

Key words: open information systems, interoperability, architecture, semantic web

МОДУЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.В. Сафронов, В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, С.Л. Подвальный

В статье предлагается комплексная разработка, представленная в виде набора автоматизированных программно-аппаратных модулей, интегрируемых в единую расчетную среду для управления и обмена данными между программными приложениями внутри единого информационного пространства предприятия. Приведены разработанные структурные и функциональные схемы построения специализированного программного обеспечения типового машиностроительного предприятия

Ключевые слова: информационное пространство, инфраструктура, интеграция, бесшовная интеграция

Введение

Информационная система большинства машиностроительных и производственных предприятий является не оптимальной и не обеспечивает возможность проведения всех необходимых расчетов специалистами предприятия, требует привлечения сторонних организаций.

Большая часть имеющихся программных и аппаратных средств устарели и позволяют проводить расчет только типовых расчетных задач по существующим инженерным методикам или специальным методикам, разработанным специалистами предприятия.

Компьютеризация традиционных методик для решения инженерно-конструкторских задач на предприятиях большинства промышленных отраслей в настоящее время осуществляется не систематизировано. В основном это ведется с помощью прикладных программ собственной разработки, обеспечивающих решение лишь частных проблем проектирования.

Методы решения проблематики информатизации предприятий.

В настоящее время полноценное проектное исследование характеристик объекта с требуемыми показателями точности и сроками выполнения работ можно осуществить только путем создания автоматизированных программно-аппаратных комплексов, построенных на основе компьютерного анализа с использованием увязанных физико-математических моделей, описывающих гидродинамические и тепловые процессы изготавливаемого изделия.

Среди недостатков существующих на предприятиях информационной системы можно выделить:

1) Узкая специализация конструкторских и расчетных работ, влияющая на некорректность и полноту постановки задачи, и не достаточно полный анализ полученных результатов. При этом

отсутствует возможность проведения конструктором самостоятельно выполнять предварительные расчеты разрабатываемого изделия, что приводит к увеличению трудоемкости и сроков проведения проектировочных работ в целом.

2) Большое количество бумажного документооборота, имеющего следующие недостатки:

- медленный поиск документов;
- трудности отслеживания движения документа на всех этапах его жизненного цикла;
- длительность сроков подготовки и согласования документов;
- возрастает вероятность возникновения ошибок при сборе, обработке и передаче информации;
- увеличение времени обработки информации.

3) При проведении расчетов используется, как правило, набор специализированных и слабо интегрированных между собой методик, реализованных в среде Microsoft Excel.

4) Также одним из недостатков, используемых методик, является значительная продолжительность расчётов, связанная с необходимостью выполнения трудоёмких процедур поэтапного итерационного вычисления и увязки параметров.

В лучшем случае на предприятиях существует "лоскутная" автоматизация. При этом процесс подготовки и выпуска технологических процессов для сборочного производства зачастую полностью не автоматизирован.

Отсутствие современного аппаратного обеспечения приводит к тому, что трудоемкость выпуска проектной технологической документации значительно завышена. При высокой технической грамотности технологов-проектировщиков отсутствие современных вычислительных средств тормозит выпуск готовой продукции как за счет методов ее изготовления, так и за счет значительных не производственных затрат.

Применение устаревших методик расчета и их ручная реализация повышают трудоемкость первичного инженерного анализа, полностью отсутствует элементы цифрового прототипирования готовой продукции.

Производительность труда низкая в силу большой составляющей ручного труда, отсутствия

Сафронов Виталий Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, e-mail: safronov.vitaliy@mail.ru

Барабанов Владимир Федорович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: bvf@list.ru

Нужный Александр Михайлович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: nam14@mail.ru

Подвальный Семен Леонидович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: spodvalny@yandex.ru

возможности сравнения с имеющимися аналогами и ранее принятыми решениями. Каждый технологический процесс разрабатывается практически заново.

Качество выпускаемой проектной документации находится на среднем уровне, отсутствуют оптимальные технологические процессы. Это связано с тем, что при ручном написании ТП не используется многовариантный анализ, нет или затруднен доступ к актуальной нормативной базе, а так же имеющемуся на предприятии перечню оборудования, средств технологического оснащения и инструмента [1].

Результаты

Создание единого информационного пространства (ЕИП) для современных предприятий, занимающихся проектированием и производством сложных технических изделий, в настоящее время является насущной необходимостью. На фоне постоянного роста объемов и сложности проектно-конструкторской документации, повышение эффективности деятельности подобного рода предприятий возможно только при условии интеграции используемых автоматизированных систем.

Без формирования ЕИП невозможно обеспечить функциональную, технологическую, информационную и логическую совместимость и взаимоувязку автоматизированной системы (АС) с взаимодействующими с ней и между собой программными системами. Это означает, что единые принципы и общие правила формирования и сопровождения информационных ресурсов и информационно-телекоммуникационных систем, установленные в ЕИП, должны соблюдаться всеми субъектами информационных отношений, осуществляющими свою деятельность и обмен информацией между собой в рамках ЕИП компании.

Основными элементами ЕИП являются:

- информационные ресурсы;
- организационные структуры, обеспечивающие функционирование и развитие ЕИП;
- средства информационного взаимодействия субъектов информационных отношений в ЕИП, обеспечивающие регламентированный доступ к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных технологий и нормативно правовых документов.

Под организационными структурами ЕИП понимаются отраслевые, заводские и цеховые элементы, необходимость организации взаимодействия с которыми обусловлена целями и задачами управления предприятием, а также методами их информационного обеспечения, реализуемыми с использованием АС.

АС состоит из набора программно-аппаратных модулей (ПАМ): «Конструкция»; «Прочность»; «Гидравлика»; «Тепло»; «Архив»; «Механика»; «Литье»; «Сборка»; «3D Измерение»; «ЕИС», «Оптимизация» и др.

АС обеспечивает: масштабируемость по количеству пользователей, по количеству обрабатываемой информации; архивное хранение информации – в соответствии с законодательством РФ, действующей номенклатурой дел предприятия и отрасли [2].

Каждый ПАМ обеспечивает проведение всех необходимых видов расчетов и имеет возможность адаптации под изменяющиеся внешние факторы (такие, как изменения в организации бизнес-процессов, изменение в системе действующих государственных стандартов и т.п.).

Предложенный перечень подсистем позволяет охватить в полной мере деятельность всех проектирующих подразделений и подразделений технологической подготовки производства, выполнить интеграцию программно-аппаратных модулей в единое информационное пространство, наладить электронный документооборот и создать архив электронной документации.

Схема деления программной структуры АС представлена на рис. 1.

В настоящее время в качестве средства интеграции автоматизированных систем проектирования и технологической подготовки производства, организации электронного документооборота, создания единого информационного пространства на предприятиях, занимающихся проектированием и изготовлением сложных технических изделий широко используются PDM-системы - организационно-технические системы, обеспечивающие управление всей информацией об изделии [3].

Для интеграции программно-аппаратных модулей в составе АС, а также для решения задач управления инженерными данными, управления информацией об изделии, управления техническими данными, ведения электронного архива документации используется система «1С:PDM. Управление инженерными данными».

Базовая часть системы 1С:PDM реализована на платформе «1С:Предприятие 8», а компоненты работы с CAD-системами – внутри соответствующих CAD-систем (рис. 2). Компоненты доступа к CAD обеспечивают двухстороннюю интеграцию решения с конструкторскими САПР.

Одним из двух базовых компонент 1С:PDM является система управления структурой изделия, включающая в себя редактор структуры изделия, средства заимствования, поиска, применяемости и т.д.

Вторым базовым компонентом является система управления технологией изготовления, обеспечивающая подготовку и ведение технологии на изделия на всех этапах подготовки производства, а также технологии ремонта и утилизации.

Модуль управления изменениями служит для внесения регламентированных изменений в структуру изделия и технологию.

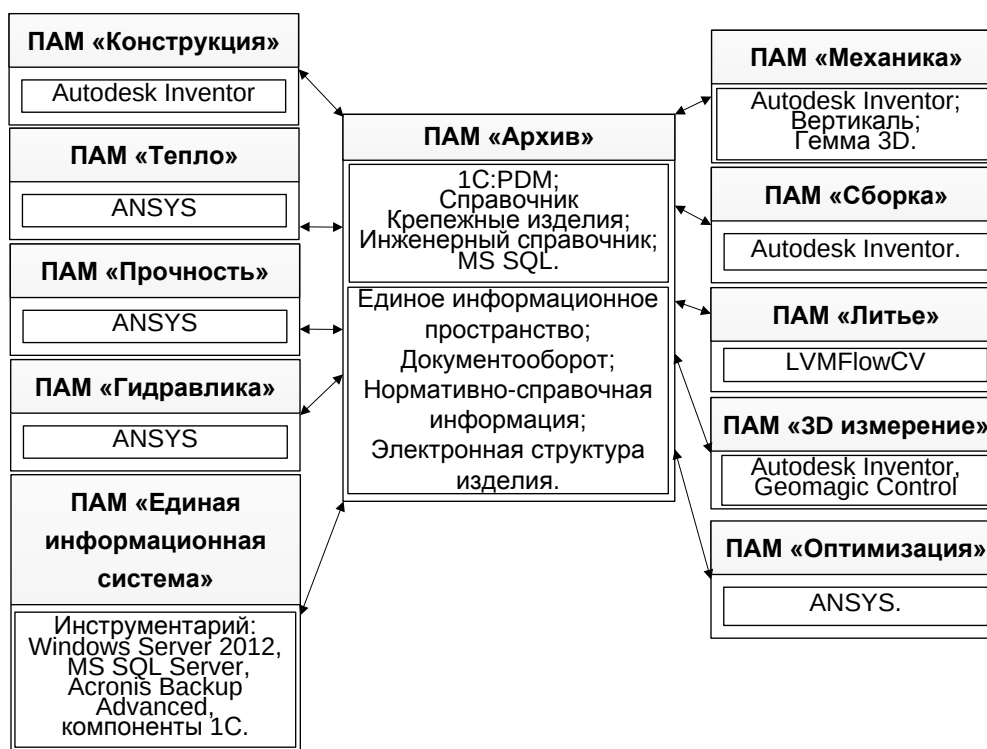


Рис. 1. Схема деления программной структуры АС

Модуль управления справочными данными электронного документооборота между подразделениями не только инженерных систем, нормативная база которых будет соответствовать нормативной базе предприятия.

Управление электронным и бумажным архивом документации позволяет обеспечить электронный документооборот между подразделениями не только инженерных документов, но и документов предприятия.

Таким образом, набор функциональных модулей полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям по интеграции модулей.

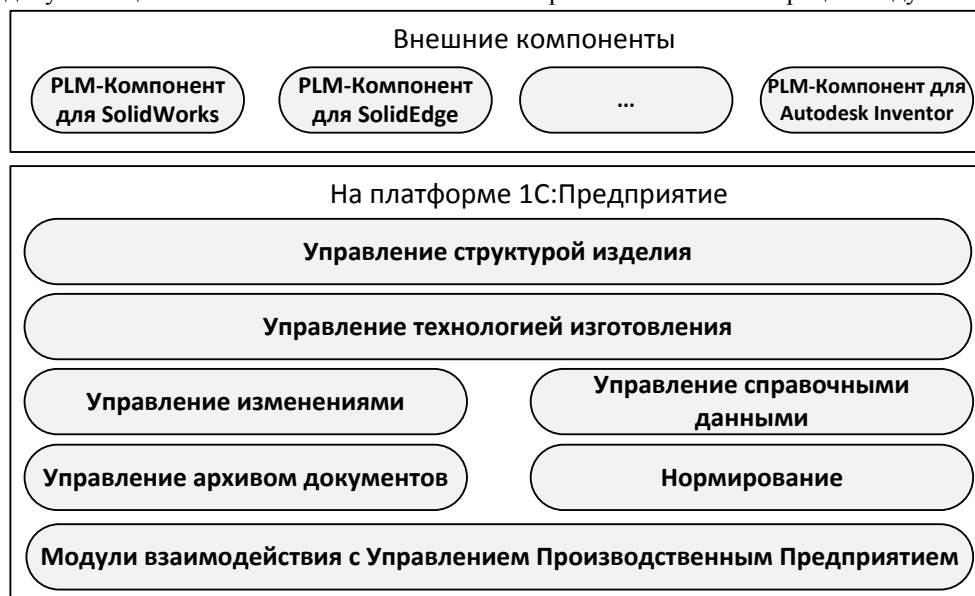


Рис. 2. Структура системы 1С:PDM

Модули, входящие в состав ПAM «ЕИС», предназначены для обеспечения бесшовной интеграции входных и выходных данных различных модулей подготовки конструкторской и технологической документации. Для обмена данными с внешними системами предназначен модуль обмена данными об электронной технологии изготовления изделий (ЭТИ) и нормативно-справочной информации.

Внутри системы 1С:PDM бесшовная интеграция входных и выходных данных модулей подготовки конструкторской и технологической документации обеспечивается набором средств, позволяющих производить автоматизированное формирование описаний ЭТИ на основании данных из ЭСИ.

Структура межмодульного взаимодействия с учетом выбора в качестве интерфейса интеграции системы 1С:PDM, представлена на рис. 3.

Все средства информационного взаимодействия можно разделить на две части [4]:

- средства организации внутренних информационных потоков;
- средства взаимодействия с внешними информационными системами.

АС обеспечивает централизованное хранение, обработку и управление данными, полученными из разнообразных систем проектирования, в центральной базе данных, реализованной средствами 1С:PDM. Для решения этой задачи выделяются следующие функциональные подсистемы:

- подсистема формирования проектных данных, в составе ПАМов;
- подсистема автоматизированного контроля и корректировки проектных данных;
- подсистема трансляции графических проектных данных;
- внешняя информационная среда поддержки проектирования;
- подсистема поддержки жизненного цикла изделий;
- подсистема управления предприятием;
- подсистема технического обслуживания и поддержки.

1С: PDM Управление инженерными данными

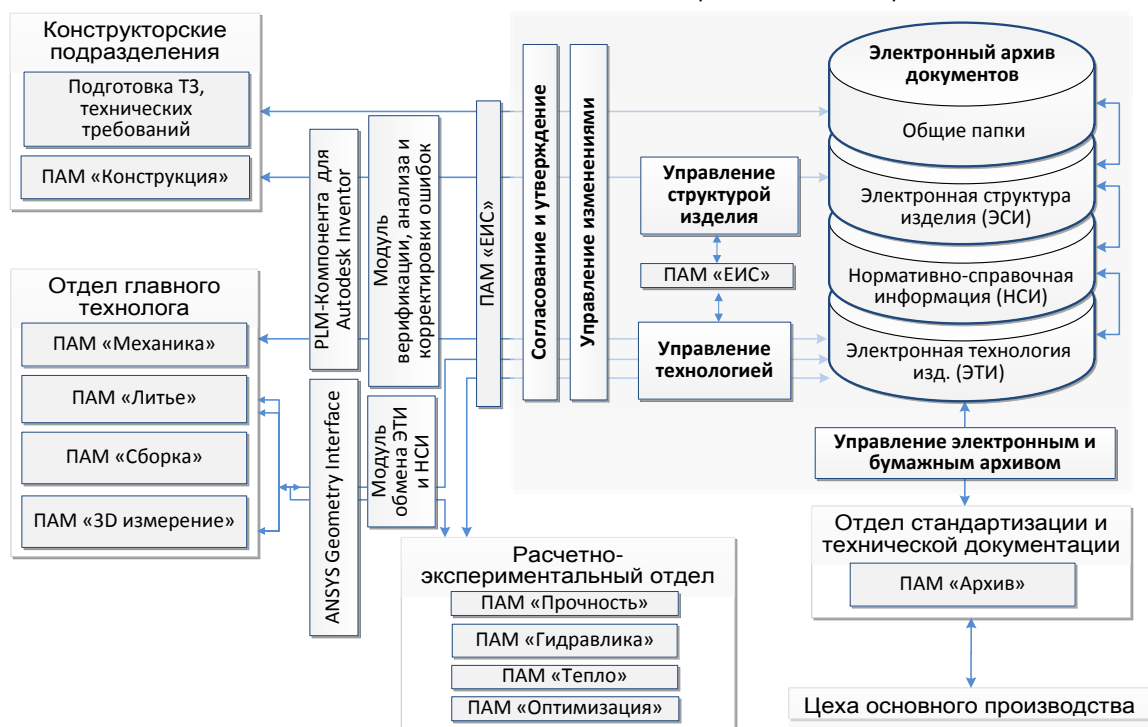


Рис. 3. Организация межмодульного взаимодействия ПАМ

Вариант структурной схемы системы представлен на рис. 4.

Основным назначением ПАМ «ЕИС» в составе АС является создание единого информационного пространства с учетом ведения электронной структуры изделия, организации электронного документооборота всех типов проектных документов, подготовленных в подсистемах АС и решения ряда задач по организации функций верхнего уровня управления разрабатываемой системой проектирования. Дополнительной функцией ПАМ «ЕИС» в составе АС является предоставление программно-информационных средств для выполнения конструкторско-технологической подготовки производства.

Общие требования, предъявляемые к ПАМам при их создании:

- обеспечение проведения необходимых видов расчетов и работ;
- возможность интеграции со смежными ПАМами;
- возможность обмена данными;

– возможность для расширения своей функциональности и модернизации в части взаимодействия с другими структурами предприятия и предприятиями отрасли;

– взаимосвязь между смежными ПАМами обеспечивается высокоскоростной проводной передачей данных при помощи коммутирующего оборудования;

– поддержка двухуровневой концепции, предполагающей совместное функционирование рабочей станции и сервера, связанных по локальной сети.

Санкционированный доступ к информационным ресурсам АС обеспечивается организационными мерами, программными и техническими средствами, а также за счет осуществления комплекса согласованных мер по многоуровневому администрированию баз данных в рамках ЕИП.

В части обеспечения управления верхним уровнем ПАМ «ЕИС» реализует функции:

1) Организация единого информационного пространства:

- Создание доменной инфраструктуры.
- Информационный обмен между компонентами системы осуществляется через единое информационное пространство посредством использования стандартизированных протоколов и форматов обмена.

- Внедрение решений резервного копирования.

2) Организация электронного документооборота:

- организация коллективной работы с электронными документами;
- организация разграничения прав доступа к электронным документам;
- автоматическое формирование извещений об изменениях проектной документации;
- организация создания и ведения электронной структуры изделия (ЭСИ) на базе 3D-модели (Autodesk Inventor);
- организация возможности формирования стандартных наборов отчетности ЕСКД на основе ЭСИ.

3) Обеспечение бесшовной интеграции входных и выходных данных модулей подготовки конструкторской и технологической документации:

- организация обработки файлов произвольных форматов ассоциированными приложениями;

- организация единого информационного пространства для всех пользователей АС ПТК;

- реализация средств оперативного просмотра документов различных форматов;

- ведение технологической нормативно-справочной информации в составе следующих справочников:

- справочник подразделений;
- справочник рабочих центров;
- справочник групп заменяемости рабочих центров;

- справочник технологических операций;
- справочник точек маршрутов;
- справочник методов обработки.

- формирование технологических описаний подготовки производства и комплектов технологической документации.

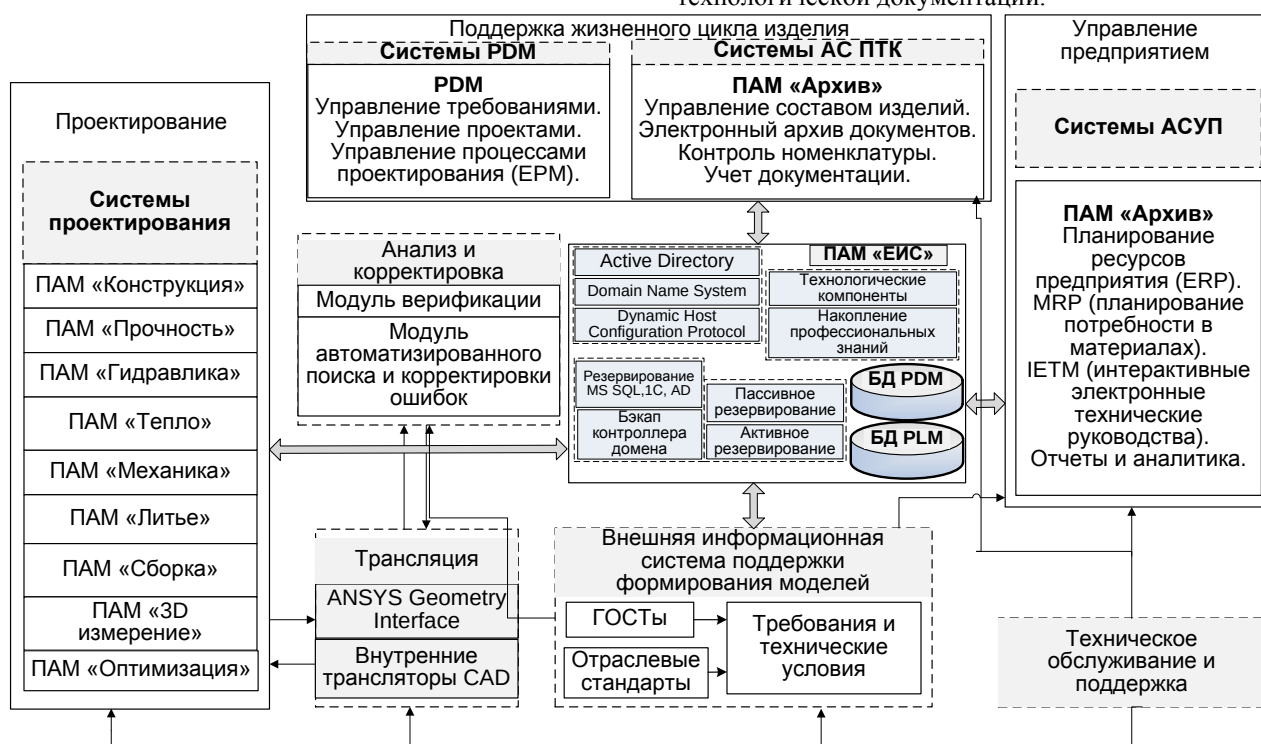


Рис. 4. Структурная схема АС

Наличие самых продвинутых и широких возможностей программного обеспечения ANSYS, позволяет проектировать изделия в максимально приближенной к реальности постановке. К таким задачам относятся - многодисциплинарный анализ, задачи в 3D постановке и детальной геометрии, оптимизация и т.п.

Программный комплекс ANSYS позволяет использовать многопроцессорные высокопроизводительные вычислительные системы - кластеры, для численного решения особо сложных задач путем параллельных вычислений. Проведение

более детализированных и точных расчетов, моделирование изделия в целом и взаимодействие между его компонентами, дает возможность более достоверно определить поведение создаваемого изделия под воздействием реальных физических сил. Подобная производительность достигается в результате применения многоядерных кластерных систем.

Поскольку тактовая частота и скорость работы процессора не может больше увеличиваться из-за температурных ограничений, то повышение скорости работы компьютеров достигается за счет

увеличения количества вычислительных ядер. Для оптимального использования современной аппаратной базы программные продукты ANSYS эффективно используют многоядерные системы. В программном продукте ANSYS основной акцент сделан на поддержку параллельных вычислений.

Таким образом, неотъемлемо требуются дополнительные вычислительные ресурсы для

уменьшения расчетного времени, которое при использовании стандартного аппаратного обеспечения может достигать нескольких месяцев.

С целью оптимизации работ с применением Ansys и обеспечения высокопроизводительных вычислений, проводимых на предприятии, целесообразно использовать выделенный вычислительный узел (см. рис. 5).

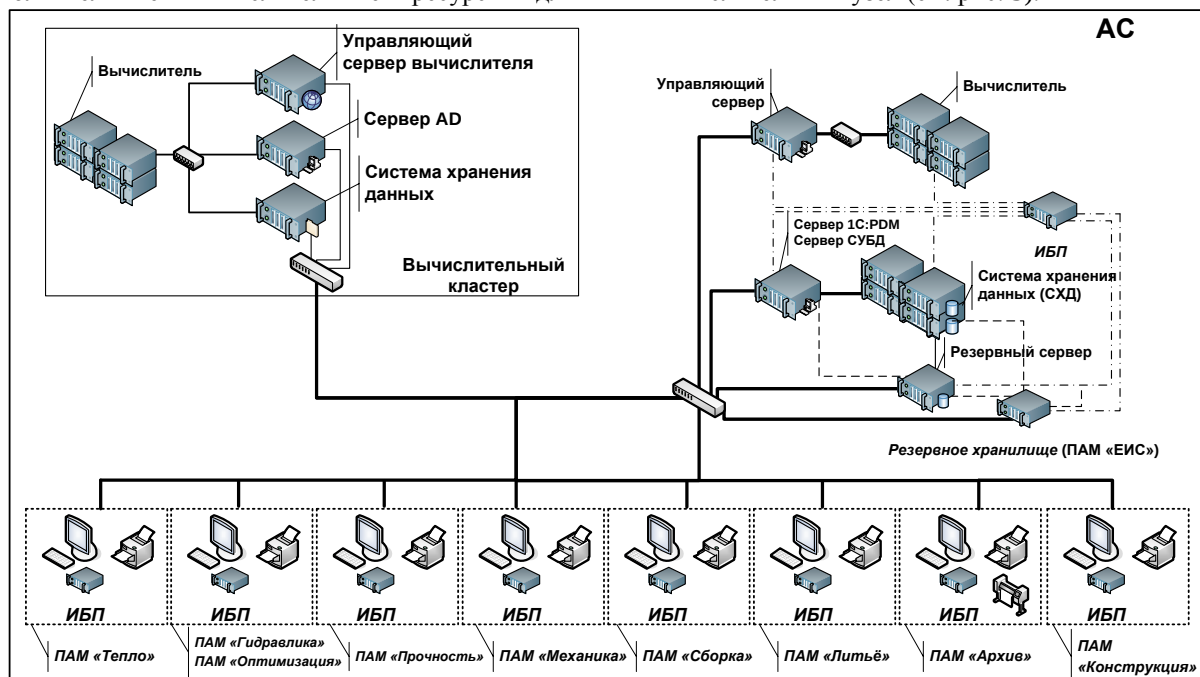


Рис. 5. Схема структурная комплекса технических средств

Заключение

Достижение поставленных в процессе проектирования и создания АС целей и задач позволяет машиностроительному предприятию:

- повысить эффективность функционирования за счет внедрения современных и усовершенствования существующих (на предприятии) методов управления, повышения результативности использования информационных и телекоммуникационных технологий, разработки и внедрения единой автоматизированной информационной системы;

- создать единое, комплексное и системное информационное описание, а также базу данных;

- обеспечить стандартизацию информации о ресурсах предприятия с целью выявления общего понятийного аппарата и состава параметров, необходимых для обеспечения высокотехнологичного производства высокотехнологичных изделий;

- обеспечить «горизонтальные» и «вертикальные» информационные связи, а также эффективное заводское информационное взаимодействие при решении задач управления с обеспечением «прозрачного доступа» к любым данным;

- обеспечить быстрый доступ и обработку в нужном аспекте любой информации АС;

- установить и закрепить ответственность за несоблюдение требований по обеспечению

корректного ввода, хранения и обновления массивов данных АС;

- создать необходимые организационные, технические и технологические условия для повышения оперативности, качества и обоснованности принимаемых управленческих решений;

- обеспечить необходимый уровень информационной безопасности за счет применения эффективных средств и методов защиты информации АС;

- снизить количество бумажного документооборота за счет передачи большей части информации в электронном виде;

- повысить качество и технико-экономический уровень результатов производства;

- снизить себестоимость производства;

- повысить уровень технологичности конструкции;

- сократить сроки и затраты на адаптацию молодых специалистов к конкретным условиям предприятия;

- улучшить контроль за исполнительской деятельностью;

- организация единого информационно-справочного пространства для технологов и конструкторов, а также служб управления производством.

Основной экономический эффект состоит в повышении производительности труда при

сокращении ошибок и соответственно в улучшении качества разрабатываемого насосного оборудования за счет автоматизации процесса проектирования и введения электронного документооборота.

Работа выполнена по договору № 1450/300-13 от 24 февраля между ОАО «Турбонасос» и ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы» (Постановление Правительства Российской Федерации №218 от 9.04.2010)

Литература

1. Создание электронного архива средствами PDM-систем [Текст] / А.М. Нужный, В.В. Сафронов, А.В. Барабанов, А.В. Гаганов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. – Т. 9. - № 6.1. - С. 23-27.
2. Анализ факторов выбора системы управления данными [Текст] / А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, А.В. Барабанов, А.В. Поваляев // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. - № 6.2. С. 25-31.
3. Концептуальный подход к бесшовной интеграции управленческих систем [Текст] / В. В. Сафронов, В. Ф. Барабанов, С. Л. Кенин, В. М. Питолин // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Вып. 3(53). - С. 95-99.
4. Разработка универсального модуля обмена технологическими данными для 1С:PDM [Текст] /В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова, С.А. Коваленко //Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т. 11. - № 6.2. С.54-56.

Воронежский государственный технический университет

MODULAR BUILDING SYSTEMS ENGINEERING DISTRIBUTED INFORMATION COMPANIES

V.V. Safronov, V.F. Barabanov, A.M. Nyzhnyy, S.L. Podvalny

The paper proposes a complex development, presented as a set of automated software and hardware modules that can be integrated into a single computational environment for the management and exchange of data between software applications within a single information space. Lists developed structural and functional scheme of constructing a model of specialized software engineering enterprise

Key words: information space, infrastructure, integration, seamless integration

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИМИТАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТОВ СО СЛУЧАЙНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАБОТ

С.А. Олейникова

Работа посвящена описанию подхода, используемого в разработанной системе моделирования для имитации выполнения сложных проектов, описываемых совокупностью взаимно-зависимых работ со случайной длительностью. В результате получены алгоритмы, основанные на принципе особых состояний, позволяющие организовать систему имитационного моделирования, отличительной чертой которой является ориентация на задачи управления проектами

Ключевые слова: модель, система имитационного моделирования, управление проектами

1. Актуальность

Особенностью современных сложных обслуживающих и производственных систем является случайный характер времени, затрачиваемого на выполнение отдельных работ заявок (проектов). В связи с этим, длительность всего проекта является также случайной величиной. В условиях, когда невыполнение работ к заданному сроку может привести к штрафным санкциям и другим нежелательным последствиям, необходимо наличие инструментов, позволяющих оценить риски, связанные с возможностью невыполнения проекта к тому или иному времени.

Одним из вариантов решения данной проблемы является моделирование процесса выполнения проекта и получение статистической информации о необходимых временных характеристиках с целью ее дальнейшей обработки. Анализ существующих систем имитационного моделирования показал их недостаточную эффективность применительно к данному классу задач и, как следствие, обусловил разработку собственной системы, позволяющей смоделировать процесс выполнения всех работ проекта и получить статистическую информацию о его вероятностно-временных характеристиках [1, 2, 3].

Такая система позволит адекватно оценить риски, связанные с возможным несвоевременным завершением проекта, и предоставит возможность оперативно отреагировать в случае возникновения такой ситуации.

2. Постановка задачи

Рассматривается задача построения системы имитационного моделирования, которая ориентирована на исследование задач управления проектами. Система преследует следующие две цели [4]:

- проверка адекватности запланированного расписания фактическому;
- создание базы для проведения экспериментов, позволяющих исследовать вероятностно-временные характеристики как отдельных работ, так и проекта в целом.

Исходными данными для разрабатываемой системы имитационного моделирования является граф проекта, каждое ребро которого будет задавать отдельную работу, а каждая вершина – событие, связанное с началом или завершением одной или нескольких работ. Такой граф называется сетевым графиком. Пользователь также должен задать количество прогонов модели. Каждый прогон должен представлять собой имитацию выполнения всех работ проекта с учетом их длительности. В качестве выходной информации по отдельному прогону будет являться длительность выполнения проекта.

Рассмотрим более подробно вопрос, связанный непосредственно с прогоном модели. Предположим, что в качестве исходных данных в систему поступила информация обо всех работах проекта. Необходимо разработать алгоритмы, позволяющие симитировать процесс выполнения всех работ.

3. Специфика общего подхода к моделированию проектов

В качестве основы будем использовать принцип особых состояний, описанный в [5, 6, 7]. Его суть заключается в том, что система должна выполнять какие-либо действия лишь в тот момент, когда меняется ее состояние. Это существенно экономит временные ресурсы в процессе моделирования. Для реализации данного принципа применительно к разрабатываемой системе необходимо [8]:

- определить множество всех событий $S=\{s_1, \dots, s_n\}$, которые приводят к изменению состояний системы;
- определить действия $A=A(S)$, которые следует выполнить при наступлении каждого из событий s_j , $j=1, \dots, n$.

Будем записывать все события из S в список. Для ускорения процесса моделирования будем хранить в списке лишь ближайшие (с точки зрения времени) события. Все произошедшие события будем из него удалять. Исходя из этого, общий алгоритм моделирования можно будет представить следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Общий алгоритм прогона модели

Определим все состояния, в которых может находиться система. Поскольку необходимо имитировать выполнение комплекса взаимно-зависимых работ, то, исходя из математической постановки задачи, описанной в [9], к действиям, которые переводят систему в особые состояния, можно отнести следующие:

- s_1 : начата некоторая работа w_i ;
- s_2 : завершена некоторая работа w_i ;
- s_3 : наступило некоторое событие p_k ;
- s_4 : завершен проект.

Будем различать события s_i из множества S , изменяющие состояния системы, и события p_j из множества N , описывающие начало и завершение работ.

В [9] было описано, что любая работа w_k определяется двумя событиями:

- p_{k1} событие, описывающее начало работы;
- p_{k2} событие, описывающее завершение работы.

Но специфика рассматриваемой задачи такова, что одно и то же событие, как правило, означает начало или завершение целого комплекса работ. Проиллюстрируем это на примере сетевого графика, представленного на рис.2.

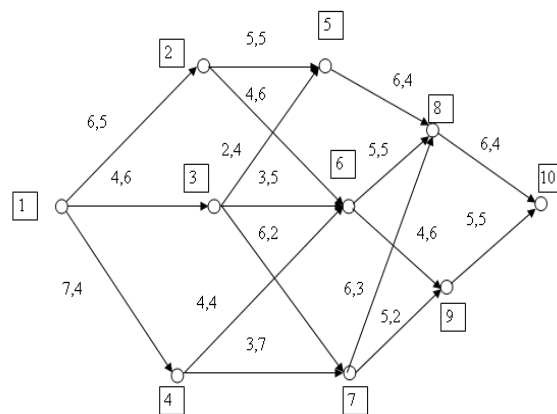


Рис. 2. Пример сетевого графика

Здесь вершины графа обозначают события (в квадратах отмечены номера событий); ребра графа соответствуют работам. Первое значение, закрепленное за ребром, означает длительность работы; второе – объем требуемых ресурсов.

Например, наступление события «б» означает, что завершены работы «2-б», «3-б» и «4-б».

Таким образом, принципиальное отличие между наступлением некоторого события из множества N и завершением некоторой работы заключается в том, что в первом случае можно выполнять все последующие работы (начало которых определяется данным событием), а во втором - в общем случае нельзя (необходимо, чтобы все работы, завершающиеся данным событием, были выполнены).

Описанная выше специфика будет определять отличие в алгоритмах, реализующих реакцию на события.

4. Алгоритмизация реакции системы на наступления состояний

Опишем алгоритмы, позволяющие реагировать на каждое из событий $s_i \in S$, более подробно с учетом особенностей моделируемого класса задач.

Рассмотрим реакцию системы на наступление некоторого события p_j из множества N . Схема соответствующего алгоритма приведена на рис. 3.

Наступление события p_i означает, что можно приступить к выполнению всех работ $w_j = w(p_i)$, начало которых описывается данным событием. Выполнение всех работ w_j одновременно может быть ограничено лишь объемом ресурсов, требующихся для их выполнения. В этом случае необходимо определить порядок выбора работ для исполнения. Предполагается, что за это будет отвечать подсистема планирования. В рамках разработки данных алгоритмов будем считать, что существует некоторый порядок выбора любых работ для исполнения.

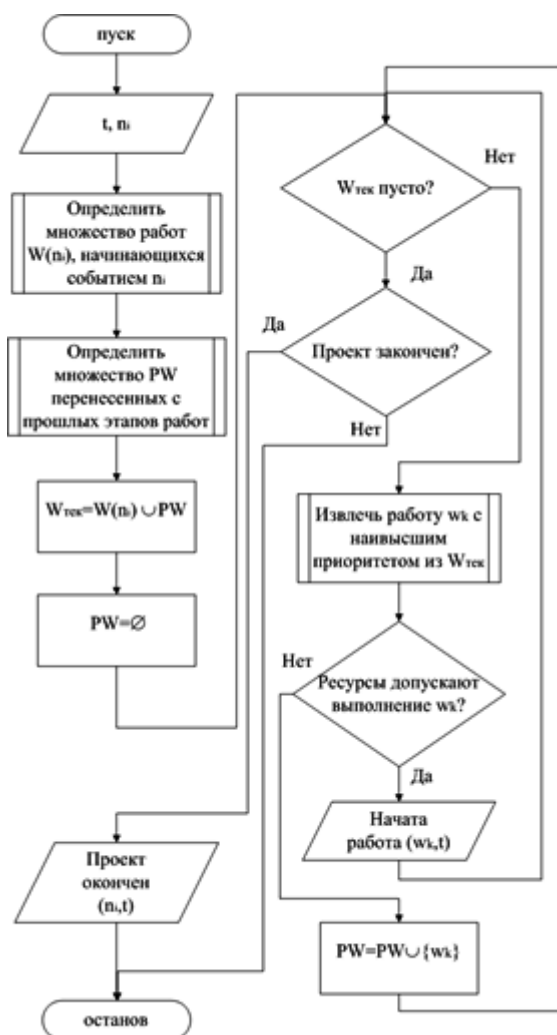


Рис. 3. Реакция системы на наступление события



Рис. 4. Реакция системы на завершение работы

Таким образом, с учетом ограничения на ресурсы в общем случае получим два вида работ:

- множество «текущих» работ TW , т.е. множество работ, которым назначено текущее время как начало их выполнения;

- множество «перенесенных» работ PW , т.е. множество работ, выполнение которых перенесено на более поздний период из-за отсутствия необходимого объема ресурсов.

Поскольку при наступлении n_i можно выполнить не только работы, начинающиеся этим событием, но и работы, перенесенные с прошлых этапов (т.е. работы, которые в данный момент составляют множество PW), перед основной работой алгоритма эти два множества работ объединяются в единое множество $W_{тек}$. Далее работы по одной в порядке приоритетности извлекаются из $W_{тек}$ и попадают или в множество TW либо в множество PW . После разделения всех работ на два множества необходимо создать событие «начать работу» для каждой работы из множества TW .

Алгоритм, описывающий реакцию системы на завершение работы, представлен на рис.4.

Отличие реакции на состояние «окончание работы» от состояния «наступление события» заключается в том, что по окончании работы можно выполнить лишь работы из множества перенесенных работ (если позволяют ограничения на ресурсы). Другим отличием является освобождение всех ресурсов, которые были использованы для данной работы.

Наиболее простой будет реакция системы на начало выполнения работы. В этом случае необходимо лишь определить ее длительность, занять необходимые ресурсы в требуемом объеме и зафиксировать момент завершения. Время выполнения работы будет определяться с помощью математического аппарата, описанного в [9].

В момент завершения проекта список событий уже окажется пустым (после удаления последнего события). В этом случае необходимо лишь проверить, следует ли завершить процесс имитации. Разработанная система моделирования организована по принципу «модель на количество». Это означает, что моделирование завершится в случае прогона модели заданного числа раз. За фиксацию числа прогонов отвечает счетчик завершений, начальное значение которого задается перед моделированием. В связи с этим, реакция на завершение проекта будет заключаться в

уменьшении счетчика на 1, проверки его на обнуление и в случае отрицательного результата – в запуске начального события (и занесении его в список событий).

5. Пример работы разработанных алгоритмов

Проиллюстрируем работу описанных выше алгоритмов на примере проекта, сетевой график которого представлен на рис.2. Предполагается, что длительности всех работ являются случайными величинами, а на графе представлены лишь наиболее вероятные их значения. Поскольку определение длительностей не является предметом рассмотрения в данной работе, детальное описание математического аппарата, позволяющего сгенерировать время выполнения работ, здесь не приводится. Более подробно оно описано в [10].

Пусть система располагает объемом ресурсов, равным 15. Тогда в начальный момент времени можно выполнить работы (1-2), (1-3) и (1-4). Следовательно, начальный список состояний будет следующим (табл. 1).

Таблица 1

Список в начальный момент времени

время	Состояние
0	начата работа 1-2
0	начата работа 1-3
0	начата работа 1-4

Согласно алгоритму, представленному на рис. 1, система имитационного моделирования будет последовательно выполнять реакции на состояния – начало работы. Как было описано выше, для этого необходимо изменить объем доступных ресурсов и определить длительность работы. Пусть, без ограничения общности, для работы (1-2) сгенерировалось время 5.8; для работы (1-3) – 3.9; для работы (1-4) – 6.7. Таким образом, после обработки начальных событий получим следующий список (табл. 2).

Таблица 2

Список после этапа 1

время	Событие
3,9	завершена работа 1-3
5,8	завершена работа 1-2
6,7	завершена работа 1-4

Поскольку список не пуст, система ищет запись с минимальным временем и обрабатывает реакцию на него. Ближайшее событие, изменяющее состояние системы – это «завершена работа 1-3». Следовательно, будет выполнен алгоритм, приведенный на рис. 4. Согласно данному алгоритму, в первую очередь освободится 6 единиц ресурсов. Далее будет осуществлена проверка, определяющая, наступило ли событие с номером 3 из множества S. Данная проверка даст положительный результат, поэтому будет запущен алгоритм, представленный на рис.3. С точки зрения

взаимной зависимости работ, можно выполнить работы (3-5), (3-6) и (3-7). Однако, суммарный объем ресурсов, требуемый для их выполнения, не позволяет этого сделать. В этом случае необходимо воспользоваться значением свойства «очередность» для работ и определить те первоочередные для выполнения работы. Пусть подсистема планирования установила следующую очередность:

- работа «3-5» - очередность 1;
- работа «3-6» - очередность 2;
- работа «3-7» - очередность 3.

Работа «3-5» потребует 4 единиц ресурсов, что допустимо с учетом количества свободных ресурсов (6 единиц). Следовательно, в список попадет сообщение «начата работа 3-5», после чего будет удалено сообщение о работе 1-3. Таким образом, получим следующую коррекцию списка (табл. 3).

Таблица 3

Список после этапа 2

время	Событие
3,9	Начата работа 3-5
5,8	завершена работа 1-2
6,7	завершена работа 1-4

Согласно данному списку, необходимо вызвать реакцию на начало работы 3-5. Пусть сгенерирована длительность этой работы, равная 1.8. Следовательно, в момент времени 5,7 работа 3-5 должна быть завершена. Список изменится следующим образом (табл. 4).

Таблица 4

Список после этапа 3

время	Событие
5,7	завершена работа 3-5
5,8	завершена работа 1-2
6,7	завершена работа 1-4

Поскольку в списке наименьшее время 5,7, будет рассматриваться событие «завершена работа 3-5». В данном случае при вызове алгоритма, представленного на рис. 4, после освобождения ресурсов должна быть проверка, наступило ли событие под номером 5. Эта проверка даст отрицательный результат, поскольку работа 2-5 еще не выполнена. Следовательно, и запустится первоочередная работа из множества PW (это работа 3-6). Продолжая, таким образом, последовательно определять состояния, изменяющие систему, и вызывать подпрограммы, реагирующие на изменение данных состояний, получим имитацию выполнения проектов, заданных последовательностью взаимно-зависимых работ со случайной длительностью.

Положенные алгоритмы легли в основу приложения, основным назначением которого является моделирование проектов с целью получения статистической информации о длительности выполнения проектов.

Выводы

Целью работы являлась разработка комплекса алгоритмов, позволяющих выполнить моделирование выполнения проектов, которые описываются множеством последовательно-параллельных работ со случайной длительностью [11-13]. Новизна заключается в использовании метода особых состояний в исследуемой предметной области, а также в определении реакции на каждое из событий, приводящих данную систему в особые состояния.

В результате были решены следующие задачи:

1. Разработан общий подход к моделированию проектов, основанный на принципе особых состояний и учитывающий специфику предметной области, для которой реализуется система имитационного моделирования.

2. Определены события, приводящие систему в так называемые особые состояния, и предложены алгоритмы действий, наступающих при возникновении данных событий.

3. Приведен пример моделирования системы на основании разработанных алгоритмов.

Предложенные алгоритмы составили основу программного средства, предназначенного для моделирования выполнения проектов со случайной длительностью отдельных работ.

Литература

1. Баженов Р.И., Лопатин Д.К. Об имитационном моделировании экономических процессов средствами специализированной программной среды // Молодой ученый. - 2014. - №4. - С. 88-92.
2. Титоренко, М.В. Об имитационном моделировании систем массового обслуживания в среде GPSS [Текст] / М.В. Титоренко, Р.И. Баженов // Nauka-Rastudent.ru. - 2015. - №11 (11). - С. 38.
3. Герасимов, Д.А. Анализ системы имитационного моделирования GPSS World [Текст] / Д.А. Герасимов, С.А. Олейникова // Информационные

технологии моделирования и управления. - 2007. - №3(37). - С. 339-343.

4. Олейникова С.А. Особенности системы имитационного моделирования для задач управления проектами со случайной длительностью выполнения работ [Текст] / С.А. Олейникова // Кибернетика и программирование. 2015. - № 2. - С.68-77. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.2.14509.

5. Сирота А.А. Компьютерное моделирование сложных систем [Текст] / А.А. Сирота. - Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. - 248с.

6. Советов, Б.Я. Моделирование систем [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. - М.: Высшая школа, 2001. - 275с.

7. Аверилл М. Л. Имитационное моделирование [Текст] / М.Л. Аверилл, В.Д. Кельтон.- СПб.: Питер, 2004. - 846с.

8. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных [Текст] / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1983. - 471 с.

9. Олейникова, С.А. Математическая модель и оптимизационная задача составления расписания для мультипроектной системы с временными и ресурсными ограничениями и критерием равномерной загрузки [Текст] / С.А. Олейникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т.9. - № 6.3. - С. 58-61.

10. ГОСТ Р ИСО 28640-2012 Статистические методы. Генерация случайных чисел. М: Стандартинформ, 2014. - 52 с.

11. Подвальный, С.Л. Многоальтернативные системы: обзор и классификация [Текст] / С.Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. - 2012. - Т. 48. - № 2. - С. 4-13.

12. Barabanov, A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes [Text] / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. - 2012. - Т. 73. - № 7. С. 1265-1268.

13. Подвальный, С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 5-1. - С. 41-43.

Воронежский государственный технический университет

IMPLEMENTATION OF IMITATION EXECUTION OF THE PROJECTS WITH A RANDOM DURATION OF ITS WORKS

S.A. Oleinikova

The work is devoted to describing the approach used in the modeling system developed to simulate the complex projects, described by a set of mutually-dependent work with random duration. As a result, the algorithms based on the principle of special states are obtained. These algorithms allow to create a simulation system, the hallmark of which is to focus on the task of project management

Key words: model, simulation system, project management

АЛГОРИТМЫ РЕКОНФИГУРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ: ВЕРИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Тхай Фыонг Чук

Завершающая статья серии посвящена подтверждению работоспособности и обсуждению результатов моделирования алгоритмов реконфигурации компьютерной системы

Ключевые слова: реконфигурация, управление заданиями, распределенная система

1. Введение

Большинство схем балансировки загрузки основано при условии, что все процессоры в распределенной вычислительной системе (РВС) имеют сходную мощность обработки и рабочую загрузку. Однако, поскольку технология продолжает продвигаться, сеть стала содержать больше процессоров различной возможности и конфигурации. Предложенный авторами [8] метод балансировки загрузки основан на Агентном управлении заданиями (АУЗ), инструменте, первоначально используемом в реализациях взаимного исключения и назначения арбитра. Опишем, как специфические свойства АУЗ позволяют создать алгоритм, который может быть приспособлен к возможностям индивидуальных узлов в связанной сети. В целом, если каждый процессор связывается только с подмножеством других процессоров в сети, то трафик сообщений остается относительно низким. АУЗ позволяет создать эти подмножества согласно более корректному методу - который лучше учитывает потребности изменения характеристик сети. Метод будет всегда выполнять перемещение задачи всякий раз, когда есть возможность, то есть, если, по крайней мере, есть один недогруженный процессор и, по крайней мере, один перегруженный процессор в сети, перемещение задачи произойдет.

Основные алгоритмы рассмотрены в [11].

2. Имитационная модель и исходные данные

В этом разделе представлены исходные данные, подаваемые на вход имитационной модели, и допущения. Процессоры в моделируемой РВС представлены как очередь в виде СМО М/М/1. Поскольку каждая задача в системе представлена в процессоре, это определяет наличие распределяющей очереди процессора (рис. 1).

Задачи, которые намечены на выполнение в ближайшее время, входят в активную очередь так же, как и задачи, которые были перенесены от других процессоров. Задачи, которые входят в активную очередь, не имеют права на перемещение; это гарантирует, что задачи не будут неоднократно безуспешно перемещаться. Совместно распределяющая и активная очереди формируют очередь ожидания. Первая задача в активной очереди обозначена как выполняющаяся задача. Задача перемещается от распределяющей очереди к активной очереди только тогда, когда активная очередь становится пустой.

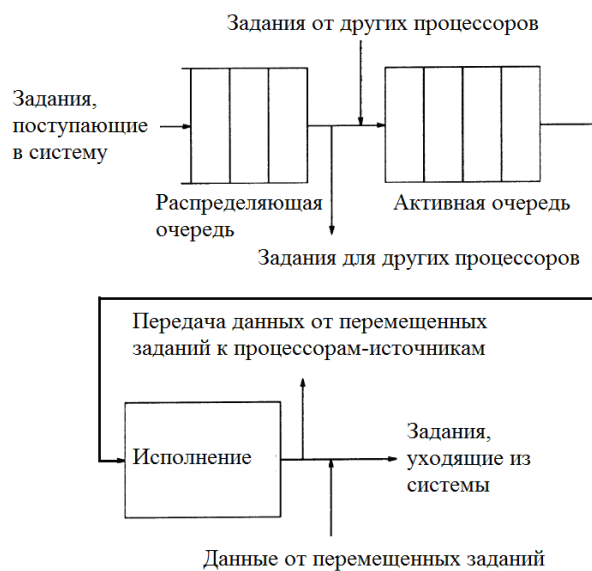


Рис. 1. Имитационная модель очереди

Считаем, что генерация задач в процессоре P_i – Пуассоновский процесс со средней частотой генерации R_i ; эта частота независима от частот других процессоров. Обозначим интенсивность поступления задач R , где $R = \sum_{i=0}^{N-1} R_i$, и N - общее количество процессоров в системе. Предполагаем, что размеры очередей в каждом процессоре неограниченны.

Времена передачи для сообщений Migrate и Answer принимаются равными двум единицам. Все другие сообщения требуют одну единицу времени. Это учитывает тот факт, что перемещение задачи и возврат результатов будет требовать подробной информации, которая будет послана. Среднее время завершения для задач - 13 единиц [4].

Пусть W - число задач в очереди ожидания процессора; это - оценка текущей загрузки того процессора. Пусть $L_{\max}$ ($N_{\max}$) - верхний порог числа ждущих задач, при которых процессор рассматривается, как недогруженный. Другими словами, процессор будет рассматриваться как недогруженный, если $W < L_{\max}$, нормально загружен если $L_{\max} < W < N_{\max}$, и перегружен если $N_{\max} < W$. Доступная загрузка в процессоре может быть определена как $N_{\max} - W - 1$; 1 вычитается от $N_{\max} - W$, чтобы объяснить факт, что задача может присутствовать, в то время как процессор ждет ответ. Принимаем $L_{\max} = 1$ и $N_{\max} = 3$. Эти пороги также идентичны данным в

[4], чтобы результаты могли корректно сравниваться.

За исключением системного размера, параметры моделирования, выбранные для этого этапа, соответствуют принятым в [1]. Это позволяет более точно сравнивать результаты работы алгоритмов. В [1] представлены результаты сравнения алгоритма Суена с алгоритмами Ни и др. [2] и Риоу [3]. В [1] отмечено, что алгоритм Суена использует приблизительно на 60% меньше сообщений, чем алгоритм Ни, и приблизительно на 50% меньше сообщений, чем алгоритм Риоу. Алгоритм Суена также обеспечивает небольшое улучшение времени ответа по сравнению с другими методами. С целью сравнения результаты по всем этим методам приведены в графиках, представленные в этом разделе.

Мы ожидаем, что наш метод будет использовать чуть большее количество полных сообщений, чем алгоритм Суена; их метод использует минимальные SendingSets и ReceivingSets полного размера. Если бы использовались меньшие наборы, было бы невозможно определить перекрестное свойство, без которого мы были бы неспособны доказать теорему 1 [8] (перемещение задачи произойдет всякий раз, когда это возможно). Так как SendingSets и ReceivingSets могут быть большими, чем $\sqrt{N}$ в нашей схеме, сообщения о загрузке и сообщения Request могут в общем случае быть посланными большему числу наборов процессоров.

3. Результаты моделирования

Сначала моделирование проводится на сети из 7 процессоров с оценкой мощности и оценках потребности, приведенными в табл. 1. Фактическая мощность и оценки потребности должны учесть внимание много факторов, некоторые из которых весьма специфические для определенных сетей.

Табл. 2 содержит SendingSet и ReceivingSet назначения, полученные алгоритмом, представленным в [11]. Процессоры А и Г менялись, чтобы создать неустойчивость оценки мощности среди SendingSets. Видно, что процессор Е с оценкой потребности 25, имеет SendingSet, в котором процессоры (кроме него самого) имеют полную оценку мощности 31 (от процессоров А, В, и С). Эти отношения соблюдаются для всех процессоров: SendingSet каждого процессора содержит процессоры с полной оценкой мощности, которая имеет по крайней мере такое же значение, как и оценка потребности процессора. Табл. 2 также иллюстрирует тенденцию для более (менее) мощных процессоров иметь больший (меньший) ReceivingSets. Мощные процессоры увеличивают полные оценки мощности кворумальных наборов, в которых они постоянно находятся, делая такой кворумальный набор более вероятным, чтобы быть назначенным на другие процессоры. Следовательно, мощные процессоры имеют тенденцию появляться в больших SendingSets процессоров, и вероятно, в больших ReceivingSets.

Таблица 1

Мощность и оценка потребности для системы с $N=7$

Процессор	Мощность	Оценка потребности
A	12	14
B	10	6
C	9	17
D	7	12
E	5	25
F	4	25
G	2	18

Таблица 2

Множества, сгенерированные новым алгоритмом для $N=7$

Процессор	SendingSet	ReceivingSet
A	A,D,E,G	A,E,F
B	B,E,G	B,C,D,E,F,G
C	B,C,D	C,E,F,G
D	B,D,G	A,C,D
E	A,B,C,E	A,B,E
F	A,B,C,F	F
G	B,C,G	A,B,D,G

На рис. 2 приведены данные по сравнению числа сообщений об изменении загрузки, требуемых каждым алгоритмом на нескольких уровнях загрузки. Предложенная нами схема требует приблизительно на 23% больше сообщений об изменении загрузки, чем алгоритм Суена. Это в значительной степени объясняется различиями в размерах SendingSets. Рассмотрим, например, SendingSet процессора А. Он содержит три входа, что не соответствует процессору А. Поэтому сообщения об изменении загрузки посланы А, но с необходимостью быть посланными трем процессорам. Общее количество таких процессоров во всем SendingSets - 17.

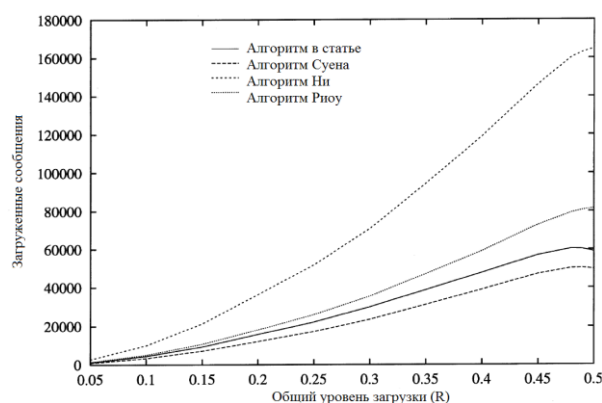


Рис. 2. Посылка сообщений о загрузке, 50000 единиц времени ($N=7$)

Напротив, алгоритм Суена создает SendingSets (и ReceivingSets) однородного размера, как показано в табл. 3. Каждый SendingSet содержит два процессора, которым должны быть посланы сообщения. Поэтому общее количество - 14 процессоров. Различие между этими двумя общими количествами - 3/14, или приблизительно 21%.

Таблица 3
Наборы, сгенерированные алгоритмом Суена для N=7

Процессор	SendingSet	ReceivingSet
A	A,B,C	A,D,F
B	B,D,G	A,B,E
C	C,D,F	A,C,G
D	A,D,E	B,C,D
E	B,E,F	D,E,G
F	A,F,G	C,E,F
G	C,E,G	B,F,G

Рис. 3 сравнивает общее количество сообщений, представленных каждым методом. Различия здесь меньше, приблизительно 16%. Фактически, доля сообщения не об изменении загрузки отличается меньше чем на 4%, что подразумевает, что количество таких сообщений менее зависят от размеров SendingSet и ReceivingSet. Так как протокол будет всегда перемещать задачи, когда это возможно, число сообщений Migrate и Answer [11] практически не меняется. Хотя сообщения Answer могут в среднем быть посланы большому количеству процессоров, чем в алгоритме Суена, такое увеличение в значительной степени компенсируется уменьшением числа сообщений Available. Количество сообщений Available меньше, потому что они не так часто должны отправляться.

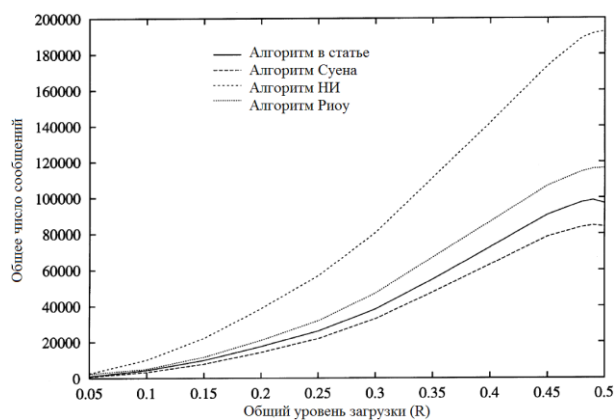


Рис. 3. Посылка всех сообщений, 50000 единиц времени для N=7

Наш метод более точен в размещении необходимых процессоров в ReceivingSets мощных процессоров, и таким образом устанавливает процессоры так, что сообщения Available, вероятно, будут посланы непосредственно перегруженным процессорам, нежели чем на промежуточные процессоры. Также менее вероятно, что сообщения Cancel и TooLate будут сформированы, так как сообщения Request и Available выполняют их задачи более часто.

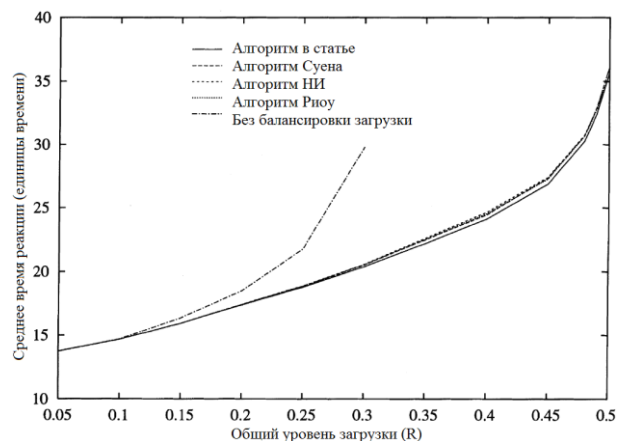


Рис. 4. Среднее время отклика для N=7

Среднее время ответа из этих двух алгоритмов приведено на рис. 8 и имеет лишь незначительные отличия. Для недогруженных систем времена ответа почти идентичны. Для более перегруженных систем наш алгоритм немного превосходит по быстродействию метод Суена. Это связано с тем, что более медленные процессоры главным образом ответственны за обработку меньшего количества сообщений в нашем методе. Более быстрые процессоры, вероятно, будут в большем количестве SendingSets, и таким образом более вероятно, чтобы они получают сообщения об изменении загрузки. Эти процессоры лучше оборудованы, чтобы обработать дополнительный поток, и таким образом, способны освободить более медленные процессоры, чтобы закончить назначенные им задачи.

Метод Суена лучше подходит для сетей определенных размеров. В частности, N должно быть выражено как $k(k-1)+1$, где $k-1$ - простое числа. Если это не так, созданные SendingSets имеют тенденцию к увеличению. Например, рассмотрим новую систему с 8 процессорами. Алгоритм Суена порождает SendingSets и ReceivingSets так, как показано в табл. 4. Табл. 5 демонстрирует мощность и оценки потребности, которые могли бы быть назначены на эти процессоры, и табл. 6 демонстрирует соответствующие SendingSets и ReceivingSets.

Таблица 4
Множества, сгенерированные алгоритмом Суена для N=8

Процессор	SendigSet	ReceivingSet
A	A,B,C,D	A,E,H
B	B,E,F,H	A,B,F,G
C	C,D,F,H	A,C
D	D,F,G	A,C,D,G
E	A,E,F,G	B,E,F
F	B,E,F,H	B,C,D,E,F
G	B,D,G	D,E,G,H
H	A,G,H	B,C,F,H

Таблица 5
Мощность и оценка потребности для системы с N=7

Процессор	Мощность	Оценка потребности
A	14	23
B	10	15
C	8	7
D	6	31
E	4	22
F	3	23
G	2	23
H	1	17

Таблица 6
Множества, сгенерированные новым алгоритмом для системы с N=8

Процессор	SendingSet	ReceivingSet
A	A,B,C,E,G	A,D
B	B,C,E,F	A,B,D,E,F,G,H
C	C,D,H	A,B,C,D,E,F,G,H
D	A,B,C,D	C,D,E,F,G
E	B,C,D,E	A,B,E
F	B,C,D,F	B,F
G	B,C,D,G	A,G
H	B,C,H	C,H

Алгоритм Суена (табл. 4) создает такой SendingSets, что 21 вход будет требовать отправки сообщений к ним. Наш метод создает SendingSets с 23 такими входами. Различие - приблизительно 9.5%. Это изменение представлено в результатах, показанных в рис. 5. Для системы с N=8 новый метод требует большего количества сообщений приблизительно на 16%. Различие в сообщениях о сохранении загрузки - незначительное, 0.39% (рис. 6). Среднее время ответа для этих двух методов является все еще очень близким (рис. 7).

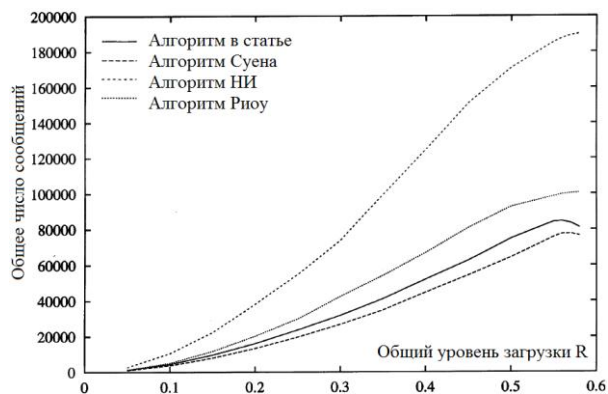


Рис. 5. Псылка сообщений загрузки, 50000 единиц времени (N=8)

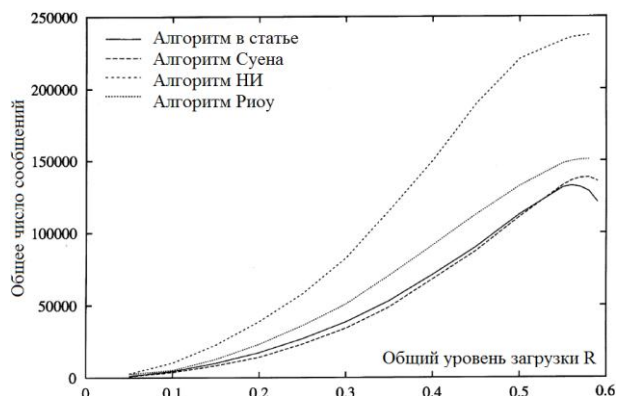


Рис. 6. Псылка всех сообщений, 50000 единиц времени (N=8)

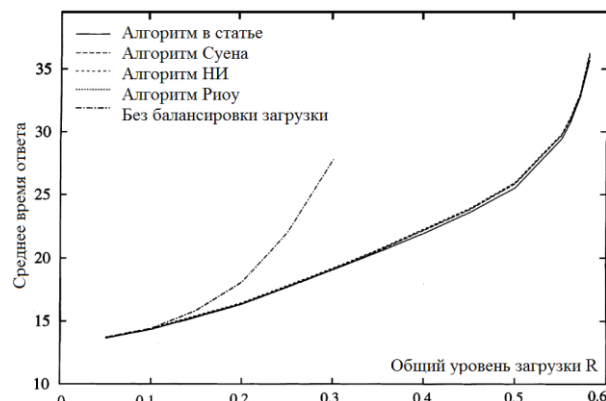


Рис. 7. Среднее время ответа (N=8)

Новый метод превосходит по быстродействию старый для значений R порядка 0.25 и более. Алгоритм превосходит по быстродействию алгоритмы Ни и Риоу для разумных структур АУЗ. АУЗ широко изменяются по составу, но наш метод пытается использовать самый маленький SendingSets, доступный в первоначальном мажоритарном АУЗ. Маловероятно, что АУЗ, созданный нашим методом, породил бы SendingSets и ReceivingSets со средним размером N=2 или больше.

Показано, что эффективность этого класса алгоритмов в основном зависит от среднего; следовательно, наша схема лучше относительно этих двух методов.

4. Алгоритмизация повышения отказоустойчивости

Чтобы повысить отказоустойчивость системы в целом, необходимо оградить систему от нефункциональных процессоров. Считаем, что ошибки есть независимые отказы процессора, которые являются редкими и недолгими; если это не так, то вероятно, что один или большее количество процессоров должен быть заменен или восстановлен. Также считаем, что обработка, происходящая в процессоре в момент отказа, не выполнена. Наконец предполагаем, что в дополнение к своим нормальным задачам, один процессор (координатор) обеспечивает контроль состояния других процессоров. Любому процессору

в сети может быть назначен этот режим работы.

Координатор периодически тестирует каждый процессор, чтобы определить, является ли он активным или нет. Когда координатор решает, что процессор отказал, он вычисляет новый SendingSets для остающихся процессоров. Чтобы увеличивать эффективность восстановления, координатор формирует SendingSets постоянного размера k , где $[N/2] - 1 \leq k \leq N - 1$, где N - число процессоров в сети. SendingSet произвольно назначается каждому процессору.

Координатор посылает сообщение каждому процессору, включая: (1) уведомления, что дефектный процессор исключен; (2) новый SendingSet процессора; (3) ReceivingSets процессоров в новом SendingSet. Если процессор получает такое сообщение от координатора, он должен удостовериться, что задачи не "потеряны".

Если сообщение Migrate было послано отказавшему процессору, и сообщение Request не было получено, переназначенная задача должна быть переупорядочена. Наоборот, сообщение Request не должно быть послано, если его адресат - отказавший процессор.

Далее, каждый процессор должен передать свою текущую степень загрузки всем членам его нового SendingSet после получения уведомления об отказавшем узле. Тогда обработка может начинаться снова.

Одновременно координатор должен сохранить SendingSets, вычисленный для первоначальной системы. Когда отказавший узел восстанавливается, координатор может передать сообщение, указывающее на отказавший и затем восстановившийся процессор, и может восстановить SendingSet каждого процессора в его исходной конфигурации.

Наконец, чтобы принять меры на случай отказа координатора, еще один процессор решает задачу контроля координатора. Если координатор выходит из строя, контролирующий процессор немедленно принимает обязанности координатора и уведомляет оставшиеся процессоры об отказе координатора. Если требуется еще большая надежность, резерв может быть назначен на многие процессоры.

Псевдокод процесса FindFaults, который реализует процедуру, посредством которой координатор обнаруживает отказы процессора и инициализирует процесс восстановления, представлен ниже.

Процесс FindFaults

```
{
while(true){
    Проверка функционирования всех процессоров;
    If(один из процессоров отказал){
        Запомнить текущий SendingSet для восстановления;
        Вычислить новый SendingSet для работающих процессоров;
        Назначить SendingSet;
        Вычислить новый ReceivingSet на основе назначенных наборов;
        Отправить сообщение Fault каждому
```

процессору, включить SendingSet и ReceivingSet этого процессора в SendingSet;

```
}
```

```
}
```

Одновременно координатор выполняет процесс BackToNormal, который является ответственным за восстановление системы к ее первоначальному состоянию, когда отказавший процессор возвращается к нормальному состоянию. Процесс реагирует на сообщение Hello, посланное восстановившимся процессором.

Процесс BackToNormal; {

```
while(true){
    if(получено сообщение Hello){
        if(не существует другого отказавшегося процесса)
```

Каждому процессору посылается сообщение Reinstare, в SendingSet этого процессора вносятся первоначальные ReceivingSet и SendingSet процессоров;

```
else {вычисляется новый SendingSet и ReceivingSet, основанный на работающих процессорах;
```

назначается SendingSet; посылается сообщение Reinstare каждому процессору, включаются новые SendingSet и ReceivingSet в SendingSet;}

```
}
```

```
}
```

```
}
```

Наконец, каждый процессор выполняет процесс UpdateSystem, который проверяет сообщения Fault и Reinstare и соответственно модифицирует локальные переменные соответственно.

Процесс UpdateSystem; {

```
switch(тип сообщения) {
    case Fault:
        обновление SendingSet, пришедшего от координатора;
        if(задача была перенесена отказавшему процессору и не было получено сообщение Reply){
            переназначить перемещение задачи в составленной очереди;
            пометить отказавший процессор и, поэтому, не посылать ему сообщение Reply;
        }
        внести текущую загрузку в новый SendingSet;
        break;
    case Reinstare:
        переназначить SendingSet по сообщению, полученному от координатора;
        break;
}
```

В ситуации, когда отказывают узлы, оставшиеся процессоры не пытаются сохранять сообщения Reply, предназначенные для отказавшего узла. Допускается, что работа, во время выполнения которой узел отказал, потеряна, и что задачи, оставленные незаконченными, будут представлены в отказавшем узле после его возвращения к работе.

Литература

1. Suen, T.T.Y. Static and dynamic task scheduling algorithms in distributed computing systems [Text] / T.T.Y. Suen // Master's dissertation, Iowa State University, 1989.
2. Ni, L.M. A distributed drafting algorithm for load balancing [Text] / L.M. Ni, C. Xu, T.B. Gendreau // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1985. - № 11 (10). - P. 1153-1161.
3. Ryou, J. A task migration algorithm for load balancing in a distributed system [Text] / J. Ryou, J.S.K. Wong // Proc. of the 22nd Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences. January. – 1989. - vol. II. - P. 1041-1048.
4. Suen, T.T.Y. E-client task migration algorithm for distributed systems [Text] / T.T.Y. Suen, J.S.K. Wong // IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems. -1992. - № 3 (4). - P. 488-499.
5. Albert, A.A. An Introduction to Finite Projective Planes, Holt, Rinehart and Winston [Text] / A.A. Albert, R. Sandler // New York, 1968.
6. Avseeva, O.V. Multiphase design and minimization of losses between interfaces [Text] / O.V. Avseeva, O.Ja. Kravets, Ju.B. Tebekin // Yelm, WA, USA, 2013.
7. Kravets, O.Ya. Information systems competitive development: algorithms and software for intranet interfaces [Text] / O.Ya. Kravets, A.A. Solyanik // Yelm, 2013.
8. Кравец, О.Я. Управление перемещением заданий в системах управления загрузкой оборудования [Текст] /О.Я. Кравец, Тхай Фыонг Чук// Экономика и менеджмент систем управления. - 2015. - №1(15).– С. 72-78.
9. Инструментальные средства обеспечения взаимодействия между гетерогенными БД в процессе проектирования информационной системы [Текст] / Ю.Б. Тебекин, А.Э. Говорский, А.А. Соляник, О.Я. Кравец // Системы управления и информационные технологии. - 2011. - Т. 44. - № 1.1. - С. 203-208.
10. Кравец, О.Я. Управление перемещением заданий в системах управления загрузкой оборудования [Текст] /О.Я. Кравец, Тхай Фыонг Чук //Экономика и менеджмент систем управления. - 2015. - №1(15). – С. 72-78.
11. Тхай Фыонг Чук. Алгоритмизация процессов управления перемещением заданий между исполнителями в распределенной информационной системе [Текст] /Тхай Фыонг Чук, О.Я. Кравец // Экономика и менеджмент систем управления. - 2015. - №1.2(15). – С. 273-280.

Воронежский государственный технический университет

ALGORITHMS OF THE DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEM RECONFIGURATION: VERIFICATION AND SIMULATION

Thai Fyong Chuk

The completing article of a series is devoted to confirmation of working capacity and discussion of results of simulation of algorithms of reconfiguration of computer system

Key words: reconfiguration, job control, distributed system

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ ANSYS И 1C:PDM

В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, С.А. Коваленко, Э.Е. Прудников

В статье произведен общий обзор системы ANSYS, рассмотрен алгоритм обмена данными с 1C:PDM

Ключевые слова: 1C:PDM, ANSYS, PLM-компонента, интеграция, обмен данными

Введение

ANSYS – универсальная система конечно – элементного анализа. Данная система предназначена для решения задач механики жидкости и газа, деформируемого твёрдого тела, теплопередачи и теплообмена, акустики, электродинамики. Моделирование в этой системе позволяет избежать дорогостоящих циклов испытаний, что в конечном счёте сказывается на цене производства и продукта в целом. Система разделена на специализированные модули (например, модуль ANSYS TurboGrid – специализированный сеточный генератор, позволяющий решать задачи динамики жидкостей и газов во вращающихся машинах) и модули общего назначения (например, ANSYS CFX, позволяющий пользователю получать результаты моделирования процессов в обобщенном виде).

Структура проекта ANSYS представляет собой дерево с корнем в модуле, представляющем конечные результаты проекта (например, модуль ANSYS CFX).

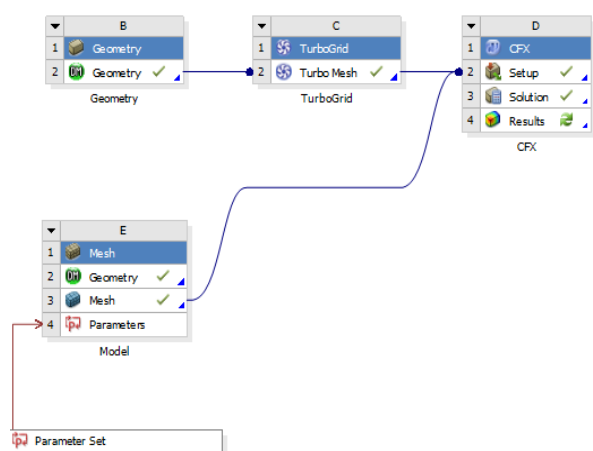


Рис. 1. Типовая структура проектов ANSYS

Формирование проекта осуществляется добавлением соответствующих модулей в структуру проекта, наполнением и связью этих модулей с последующими модулями, производящими дальнейшую обработку, вплоть до получения результата.

ANSYS допускает интеграцию со многими CAD-системами (Unigraphics, SolidEdge, Autodesk Inventor и др), а также с PLM-системами (TeamCenter).

Разработка PLM – компоненты для интеграции систем 1C:PDM и ANSYS даст возможность использовать преимущества системы 1C:PDM в вопросах хранения и наглядного отображения промежуточных данных и результата работы системы Ansys для всех заинтересованных лиц. В конечном итоге будет достигнута полная интеграция данных об изделии вокруг электронной структуры изделия (ЭСИ)[2].

Обзор механизма add-in и возможностей обмена

ANSYS предоставляет механизм add-in, позволяющий интегрировать в систему некоторые дополнительные компоненты, использующие API системы или уже готовый функционал модулей. Интерфейс ANSYS Workbench, к примеру, построен при помощи механизма add-in и позволяет посредством этого механизма вносить изменения в интерфейс ANSYS Workbench, добавляя или удаляя допустимый системой функционал.

ANSYS поддерживает разработку дополнений на многих языках программирования (C#, C++, javascript, Python). Для организации обмена данными между системами 1C:PDM и ANSYS был выбран язык C#, поскольку он позволяет достаточно просто задействовать функционал COM – объектов. COM – технологический стандарт Microsoft, позволяющий создавать приложения на основе взаимодействующих компонентов. Программа на основе COM обеспечивает другой программе быстрый и надежный доступ к своим данным и функционалу.

Все add-in – системы хранятся в папке Addins, расположенной в папке Ansys. Для добавления add-in компоненты необходимо зарегистрировать её в системе. Регистрация происходит в Addins\Configuration. Для регистрации необходимо создать файл xml, который включает в себя информацию о компоненте, в частности добавляемый класс и его местоположение.

При загрузке ANSYS Workbench система читает и пытается подгрузить add-in компоненты, в случае неудачи выдается соответствующее уведомление с описанием причины ошибки загрузки.

В конкретном случае загружаемый компонент представляет собой одноименную DLL – библиотеку с определённой структурой и функционалом, использующим API-системы ANSYS.

Барабанов Владимир Федорович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: bvf@list.ru

Нужный Александр Михайлович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: nam14@mail.ru

Коваленко Сергей Александрович – ВГТУ, магистрант, e-mail: sergpc@yandex.ru

Прудников Эдуард Евгеньевич – ВГТУ, магистрант, e-mail: e.prudnikov@2drt.ru

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<Addins>
  <Configuration Name="Default">
    <Addin Name="TestInsider.Core.Addin"
      Location="$(Addins)\TestInsider\bin\Win32\TestInsider.dll"/>
  </Configuration>
</Addins>
```

Рис. 2. Содержимое конфигурационного файла TestInsider.xml

Данная библиотека предоставляет реализацию определенного интерфейса (в зависимости от потребностей), в данном случае это функционал загрузки данных о проекте из файла. Интерфейс, отвечающий за создание и обработку графического пользовательского интерфейса – ANSYS.UI.Interfaces.IGuiOperation[1].

Этот интерфейс отвечает за обработку операций с интерфейсными компонентами (в частности с кнопкой). Его реализация позволяет импортировать файлы в ANSYS. Также функционал позволяет, посредством COM – механизма осуществлять загрузку решения из 1C:PDM.

```
public class GuiTestInsider : Ansys.UI.Interfaces.IGuiOperation
{
    public void OpenFileWbpj(string path)
    {
        Ansys.UI.Toolkit.MessageBox.Show("Import");
        Ansys.Core.Persistence.Commands.OpenCommand.InvokeAndWait(
            path);
    }

    void Ansys.UI.Interfaces.IGuiOperation.
        Invoke(Ansys.UI.GuiOperationContext context)
    {
        Ansys.UI.Toolkit.MessageBox.Show("Import");
        Ansys.Core.Persistence.Commands.OpenCommand.InvokeAndWait(
            Addin.PathProject());
    }

    void Ansys.UI.Interfaces.IGuiOperationContainer.
        GuiItemCallBack(Ansys.UI.GuiInformationContext context)
    {
        Ansys.UI.Toolkit.MessageBox.Show("Callback");
    }
}
```

Рис. 3. Реализация функционала интерфейса

В качестве элемента отображения используется меню Exchange, в котором добавлены кнопки реализующие импорт и экспорт файлов ANSYS. Добавление элементов графического интерфейса также осуществляется в проекте.

```
using Ansys.UI.Attributes;
using Ansys.UI.Toolkit;
using Ansys.UI.Standard;
using Ansys.Core.FileManagement.Commands;

namespace TestInsider.TestInsider.Gui
{
    [GuiOperation("Import")]
    [ToolBarButton("Import", ShowText = true)]
    [MenuEntry("Exchange")]

    [Visibility(AttributeOptions.InitialVisibilityOn
        | AttributeOptions.InitialEnablingOn)]
```

Рис. 4. Добавление элементов отображения

В результате, при загрузке ANSYS Workbench на панели меню добавляется пункт меню Exchange с кнопкой import, позволяющей производить импорт.

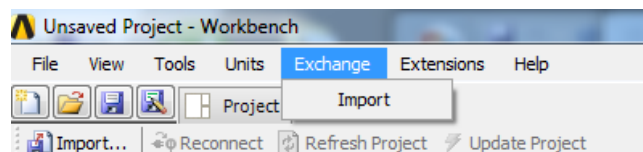


Рис. 5. Добавленное меню

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что технология add-in позволит реализовать необходимую функциональность разработки PLM-компоненты для интеграции систем 1C:PDM и ANSYS.

Работа выполнена по договору № 1450/300-13 от 24 февраля между ОАО «Турбонасос» и ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства магистральных нефтяных насосов нового поколения с использованием методов многокритериальной оптимизации и уникальной экспериментальной базы» (Постановление Правительства Российской Федерации №218 от 9.04.2010)

Литература

1. Разработка универсального модуля обмена технологическими данными для 1C:PDM / В.Ф.Барабанов, А.М. Нужный, Н.И.Гребенникова, С.А.Коваленко // Вестник Воронежского государственного технического университета 2014.-Т
2. Барабанов, А.В. Разработка конфигурации учета корреспонденции на базе системы 1C:Предприятие 8 [Текст] / А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова, Э.Е. Прудников // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 63–64
3. Прудников, Э.Е. Разработка модуля администрирования для информационной базы 1C:Предприятие 8 [Текст] / Э.Е. Прудников, А.В. Барабанов, Н.И. Гребенникова // Международная научная школа «Парадигма» Лято-2015. – 2015. – Т.2 – С. 238–243
4. Документация Ansys <http://www.ansys.com/Support>
5. Подвальный, С.Л. Многоальтернативные системы: обзор и классификация [Текст] / С.Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. – 2012. - Т. 48. – № 2. – С. 4-13.
6. Barabanov, A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes [Text] / A.V. Barabanov, S.L. Podval'nyi // Automation and Remote Control. – 2012. – Т. 73. - № 7. С. 1265-1268.
7. Подвальный, С.Л. Модульная структура системы многоальтернативного моделирования процессов полимеризации [Текст] / С.Л. Подвальный, А.В. Барабанов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. - Т. 9. – № 5-1. – С. 41-43

Воронежский государственный технический университет

ANALYSIS OF INTEGRATION CAPABILITIES OF SYSTEMS ANSYS AND 1C:PDM

V.F. Barabanov, A.M. Nuzhnyy, S.A. Kovalenko, E.E. Prudnikov

The article describes the general overview of ANSYS, the algorithm of data exchanger with 1C:PDM

Key words: 1C:PDM, ANSYS, PLM-component, integration, data exchange

ОСОБЕННОСТИ ВЕРОЯТНОСТНОГО ВЫВОДА В БОЛЬШИХ БАЗАХ ДАННЫХ

Нгуен Сон Лам

В статье рассмотрен подход к управлению вероятностными базами данных на основе диссоциации запросов и коэффициента распространения, решающий на алгоритмическом уровне проблему точного вывода для NP-полной задачи

Ключевые слова: вероятностная база данных, управление, точный вывод

1. Введение

Вероятностный вывод применительно к большим пакетам данных становится центральной проблемой управления данными. Центральная проблема состоит в том, что точный вывод обычно является NP-полной задачей, что ограничивает размер данных, которые могут быть эффективно обработаны.

2. Постановка задачи

Рассматриваются вероятностные базы данных (probabilistic databases - PDBs), где каждый кортеж имеет независимую вероятность $p(e) \in [0,1]$. D - пример базы данных, т.е. набор кортежей и их вероятностей. Выделяем жирным шрифтом (x) обозначения наборов или кортежей, $[k]$ - обозначение набора $\{1, \dots, k\}$, и $x[i,j]$ - короткая форма для $(x_1, \dots, x_j)$. Считаем, что окружение генерируется независимым включением каждого кортежа t в него с вероятностью $p(t)$. Таким образом, база данных D кортеже-независимая. Рассматриваем самосоединяющиеся свободные конъюнктивные запросы $q(x) :- g_1, \dots, g_m$, где $g_1, \dots, g_m$ - относительные атомы, также называемые подцелью, на словаре $R_1, \dots, R_m$. Это обозначение по сути аббревиатура функции первого порядка $q(x) = \exists x_1 \dots \exists x_k (g_1 \wedge \dots \wedge g_m)$, где $x_1, \dots, x_k$ - связанные переменные и x - свободные переменные в выражении. «Самосоединяющиеся свободные конъюнктивные запросы» означает тот факт, что каждая подцель g_i отсылает к различным отношениям R_i .

Обозначаем через $\text{Var}(q)$ набор всех переменных, $\text{HVar}(q)$ - набор главных переменных x , и $\text{EVar}(q)$ набор неглавных или относящихся к существованию запроса q переменных. Для булевого запроса: $\text{HVar}(q) = 0$ и $\text{Var}(q) = \text{EVar}(q)$.

Обозначаем через $\text{Var}(g_i)$ переменные в подцели g_i , и A - активный домен базы данных D .

Задача вероятностной оценки запроса состоит в вычислении величины $P[q]$, которая является вероятностью того, что запрос верен в случайно выбранном окружении, и которую назовем надежностью запроса $r(q)$ [5].

Пример 1. Распространение в k -дольном графе [18] подтверждает действительное наличие проблемы.

Известно, что сложность данных [9] любого конъюнктивного запроса q является или PTIME, или NP-сложной [2]. Класс запросов PTIME, также называемых безопасными запросами, для случая «Самосоединяющиеся свободные конъюнктивные запросы» уточняется как «Иерархические запросы» [1] и определяется следующим образом:

Определение 2 (Иерархический запрос). Для каждой переменной x в q , обозначим через $sg(x)$ подцели, которые содержат x . Тогда q называется иерархическим, если для любых двух переменных x , y одно из следующих трех условий будет выполнено:

$$\begin{aligned} sg(x) &\subseteq sg(y); \\ sg(x) \cap sg(y) &= \emptyset; \\ sg(x) &\supseteq sg(y). \end{aligned}$$

Например, запрос $q_1 :- R(x,y), S(y,z), T(y,z,u)$ является иерархическим, в то время как $q_2 :- R(x,y), S(y,z), T(z,u)$ таковым не является, поскольку ни одно из этих трех условий не соблюдается для переменных y и z . Каждый рекурсивный иерархический запрос может быть вычислен в полиномиальном времени, но неиерархический запрос в общем случае является NP-сложным.

Определение 3 (План запроса). Пусть $R_1, \dots, R_m$ - реляционный тезаурус. План запроса задается грамматикой

$$P ::= R_i(x) \mid \pi_x P \mid \bowtie [P_1, \dots, P_k],$$

где $R_i(x)$ - элементарный реляционный элемент, содержащий переменные x и константы, π_x - оператор проекции с двойным удалением, и $\bowtie [\dots]$ - естественное соединение в префиксной записи, которое может быть k -арным для $k \geq 2$. Требуется, чтобы соединения и проекции чередовались в плане. Порядок соединения несущественен, т.е. $\bowtie [P_1, P_2]$ то же самое, что и $\bowtie [P_2, P_1]$.

Требование в определении, чтобы соединения и проекции чередовались в плане, является существенным. Следовательно, не рассматриваются перестановки в соединениях (называемые упорядочиванием соединений). Кроме того, не разрешаются деревья соединений, такие как $\bowtie [\bowtie [R_1, R_2], R_3]$ или $\bowtie [R_1, \bowtie [R_2, R_3]]$. Напротив, оба термина считаются эквивалентными и однозначно представленными планами запроса $\bowtie [R_1, R_2, R_3]$, с точностью до изменения порядка компонентов операции. Причина состоит в том, что все

различные порядки соединения имеют одну и ту же вероятностную семантику, т.е. они приводят к тем же самым коэффициентам запроса, как определено далее.

Обозначим через q_P запрос, состоящий из упомянутых в плане P элементов. Определим главные переменные $HVar(P)$ индуктивно как $HVar(R_i(x))=x$
 $HVar(\pi_x(P))=x$
 $HVar(\sqcap [P_1, \dots, P_k]) = \bigcup_{i=1}^k HVar(P_i)$

План называется булевым, если $HVar(P)=\emptyset$. Предполагаем, что обычные логические условия должны выполняться в планах: в операции проекции $\pi_x(P)$ мы считаем, что $x \subseteq HVar(P)$, и каждая переменная y проектируется как минимум однажды в плане, т.е. существует максимум один оператор $\pi_x(P)$, в результате чего $y \subseteq HVar(P) \setminus x$. Для удобства записи будем использовать понятие «общей проекции»: учитывая подплан P с главными переменными $HVar(P)=x \cup y$, оператор общей проекции $\pi_{-y}(P)$ проецирует подмножество переменных $y \neq \emptyset$ из и на x : $\pi_{-y}(P) \equiv \pi_x(P)$.

План P оценивается в базе данных D , используя расширенные семантики [3, 7]: каждый подплан P возвращает промежуточное отношение числа аргументов $|HVar(P)|+1$. Дополнительный признак вероятности хранит вероятность каждого кортежа. Для вычисления вероятности каждый оператор считает, что входные кортежи независимы, т.е. вероятностный оператор соединения $\sqcap^P [\dots]$ умножает вероятности кортежа

$$\prod_{i=1}^k p_i$$

объединенных k кортежей, и вероятностный оператор проекции с двойным удалением π_x вычисляет вероятность $1 - \prod_{i=1}^k (1 - p_i)$ для k кортежей

с теми же самыми атрибутами отображения [3, 8]. Для булева плана P это приводит к единственному значению вероятности, которое обозначаем как $score(P)$. В целом это не истинная надежность запроса $r(q_P)$, которая определена ранее: $score(P) \neq r(q_P)$.

Определение 4 (Безопасный план). План P называется безопасным, если для любого оператора соединения $\sqcap [P_1, \dots, P_k]$ все подпланы имеют совпадающие главные переменные:

$$HVar(P_i) = HVar(P_j) \text{ для всех } 1 \leq i, j \leq k.$$

Известные факты о соотношении между безопасными запросами и безопасными планами [1]:

Утверждение 5 (Безопасность). Пусть P – план для свободно соединяющегося конъюнктивного запроса q . Тогда (1) $score(P) = r(q)$ для любой ВБД и только в этом случае P безопасен; (2) q признается безопасным планом тогда и только тогда, когда q иерархичен. Более того, безопасный план уникален (до перестановки в порядке соединения).

Пример 6 (Безопасные планы и SQL). Рассмотрим безопасные планы иерархических запросов на двух примерах, начиная с простого иерархического запроса, его уникального безопасного плана и его трансляции в SQL, принимая во внимание схему $R(A, B)$, $S(A)$ и каждую таблицу, имеющую один дополнительный атрибут P для вероятности кортежа. Здесь $IOR(X)$ является определенным пользователем агрегатом, который вычисляет независимость для вероятностей сгруппированных кортежей, т.е. $IOR(p_1, p_2, \dots, p_n) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n)$ (точное определение для PostgreSQL дается в [4]).

Пример 6.1

$$q_1(x) : -R(x, y), S(x) \\ P_1 = \sqcap^P [\pi_{-y} R(x, y), S(x)]$$

```
select R2.A, R2.P * S.P as P
from (select A, IOR(P) as P
      from R
      group by A) as R2, S
where R2.A = S.A
```

Пример 6.2

Второй пример – более сложный логический булев запрос:

$$q_2 : -R(x, y), S(y, z), T(y, z, u) \\ P_1 = \pi_{-y}^P \sqcap^P [\pi_{-x}^P R(x, y), \pi_{-z}^P \sqcap^P [S(y, z), \pi_{-u}^P T(y, z, u)]]$$

3. Диссоциация и распространение

В этой части определим метод диссоциации запроса и коэффициент распространения запроса. Сначала определим подход обобщенно, в следующих статьях опишем эффективные методы оценки диссоциации и распространения запроса.

Определение 7 (Диссоциация запроса). Диссоциация конъюнктивного запроса $q: -R_1(x_1), \dots, R_m(x_m)$ – это набор множеств переменных $\Delta = (y_1, \dots, y_m)$, причем $y_i \subseteq \text{Var}(q) - \text{Var}(g_i)$. Диссоциированный запрос:

$$q^\Delta : -R_1^{y_1}(x_1, y_1), \dots, R_m^{y_m}(x_m, y_m).$$

Таким образом, синтаксически диссоциация запроса добавляется к некоторым подцелям, переменным других подцелей. Естественная абстракция для понимания диссоциации запроса, есть матрицы инцидентности запроса.

Определение 8 (Матрица инцидентности). Матрица инцидентности запроса q содержит одну строку для каждой подцели и один столбец для каждой переменной в $\text{Var}(q)$. Пустой кружок в определенной строке и столбце указывает на то, что соответствующая подцель содержит соответствующую переменную. Кружок с заливкой показывает, что соответствующая подцель отделена на соответствующей переменной.

Таким образом, концептуально диссоциация таблицы – мульти-перекрёстное произведение с активным доменом, так что каждый кортеж в оригинальной таблице скопирован к многократным кортежам в диссоциированной таблице. Напомним, что каждый кортеж в оригинальной таблице представляет собой независимое вероятностное

событие. Диссоциированная таблица теперь содержит многократные копии каждого кортежа с той же самой вероятностью, которая представляет независимые события. Таким образом, диссоциированная таблица имеет иную вероятностную интерпретацию, нежели оригинальная.

Определение 9 (Диссоциация таблицы). Пусть заданы конъюнктивный запрос $q: -R_1(x_1), \dots, R_m(x_m)$, активный домен A , и диссоциация запроса $\Delta = (y_1, \dots, y_m)$. Диссоциация таблицы R_i по $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{ik})$ - это отношение, определенное запросом

$$R_i^{y_i}(x_i, y_i) : -R_i(x_i), A(y_{i1}), \dots, A(y_{ik}).$$

Оба определения определяют семантику диссоциации запроса следующим образом: добавим некоторые переменные к некоторым атомам в запросе, что приводит к диссоциированному запросу по новой схеме. Преобразуем вероятностную базу данных копированием некоторых кортежей и добавлением новых признаков, чтобы соответствовать новой схеме. Получим диссоциированную базу данных. Наконец, вычислим вероятность диссоциированного запроса на диссоциированной базе данных. Это и есть семантика диссоциированного запроса, а не способ фактической оценки запросов.

Пример 10 (Диссоциация запроса). На рис. 1с показана диссоциация $\Delta = (\{y\}, 0, 0)$ и экземпляр БД на примере запроса $q: -R(x), S(x, y)T(y)$. Активный домен A есть $\{a, b, c\}$, и переменная r_i представляет независимую вероятность кортежа с индексом i .

В результате диссоциированный запрос будет иметь вид $q^\Delta : -R^{\{y\}}(x, y), S^0(x, y), T^0(y)$, который сокращенно запишем как $q^\Delta : -\tilde{R}(x, \tilde{y}), S(x, y), T(y)$. Таким образом, используем знак тильды ($\sim$) как краткое обозначение диссоциированных отношений и переменных, например, $\tilde{R}(x, \tilde{y})$ для $R(x)$ на y . Рис. 1d демонстрирует новую копию БД с таблицей $\tilde{R}$ как оригинальную таблицу R , диссоциированную на переменной y . Важно, оригинальный кортеж $R(a)$ диссоциировался в два кортежа $R(a, b)$ и $R(a, c)$ с той же вероятностью p_1 . Рис. 1a и Рис. 1b иллюстрируют матрицы инцидентий запроса q и его диссоциации q^Δ .

	x	y
R	o	
S	o	o
T		o

(a) q

	x	y
R	o	•
S	o	o
T		o

(b) q^Δ

R	A	S	A	B	T	B
p_1	a	p_2	a	b	p_4	b
		p_3	a	c	p_5	c

(c) D

$\tilde{R}$	A	$\tilde{B}$	S	A	B	T	B
p_1	a	b	p_2	a	b	p_4	b
p_1	a	c	p_3	a	c	p_5	c

(d) D^Δ

Рис. 1. Матрицы инцидентий запроса $q: -R(x), S(x, y)T(y)$ и диссоциация $q^\Delta : -R^{\{y\}}(x, y), S^0(x, y), T^0(y)$; оригинальный экземпляр

базы данных D и новый экземпляр/новая копия D^Δ с таблицей R , диссоциированной на переменной y

Первый технический результат показывает, что диссоциация запроса может только увеличить вероятность. Сформулируем его в более общей форме, отмечая, что набор диссоциаций формирует частичный порядок.

Определение 11 (Частичный порядок диссоциаций). Определим частичный порядок на диссоциациях запроса следующим образом:

$$\Delta \succ \Delta' \Leftrightarrow \forall i: y_i \supseteq y'_i.$$

Теорема 12 (Частичный порядок диссоциации). Для каждой пары диссоциаций Δ и Δ' запроса q следующее условие выполняется для каждого экземпляра базы данных:

$$\Delta \succ \Delta' \Leftrightarrow r(q^\Delta) \geq r(q^{\Delta'}).$$

Следствие 13 (Верхние границы запроса). Для каждой базы данных и каждой диссоциации Δ запроса q имеет место

$$r(q^\Delta) \geq r(q)$$

Следствие 13 вытекает непосредственно из Теоремы 12, так как каждый запрос есть диссоциация самого себя на коллекции пустых наборов. Общее количество диссоциаций соответствует количеству множеств всех подмножеств переменных, которые могут быть добавлены к подцелям. Следовательно, для каждого запроса с n неглавными переменными и m подцелями есть $2^{[K]}$ возможных диссоциаций с

$$K = \sum_{i=1}^m (n - |\text{Var}(g_i)|),$$

формирующих частичный порядок в форме множества подмножеств (см. рис. 2a для Примера 16). Коэффициент диссоциации $r(q^\Delta)$ эффективно оценивается для подмножества диссоциаций, которые безопасны.

Определение 14 (Безопасная диссоциация/разобшение (Safe dissociation)). Диссоциация Δ запроса q называется безопасной, если диссоциированный запрос q^Δ безопасен.

Отметьте, что обеспечение безопасности при диссоциации не является монотонным, и диссоциация может сделать безопасный запрос небезопасным. Например, запрос $q: -R(x), S(x, y), T(x, y, z)$ безопасен, но его диссоциация - нет: $q^\Delta : -\tilde{R}(x, \tilde{z}), S(x, y), T(x, y, z)$.

Определение 15 (Распространение). Коэффициент распространения $p(q)$ для запроса q есть минимальный коэффициент всех диссоциаций:

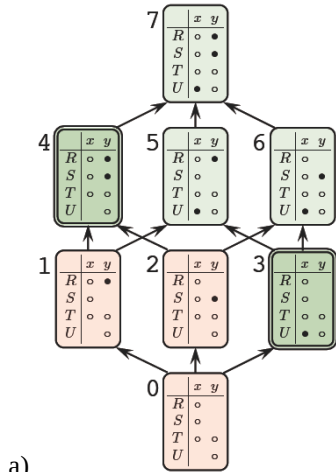
$$p(q) = \min_{\Delta} r(q^\Delta),$$

где Δ - интервал безопасных диссоциаций.

Пример 16 (Частичный порядок диссоциаций). Запрос $q: -R(x), S(x), T(x, y), U(y)$ небезопасен и допускает $2^3=8$ диссоциаций (рис. 2a). Из 8 диссоциаций 5 являются безопасными (3-7). Более того, две из них являются минимально безопасными (3, 4):

$$q^3: -R(x), S(x), T(x, y), \tilde{U}(\tilde{x}, y)$$

$$q^4: -\tilde{R}(x, \tilde{y}), \tilde{S}(x, \tilde{y}), T(x, y), U(y)$$



a)

b)

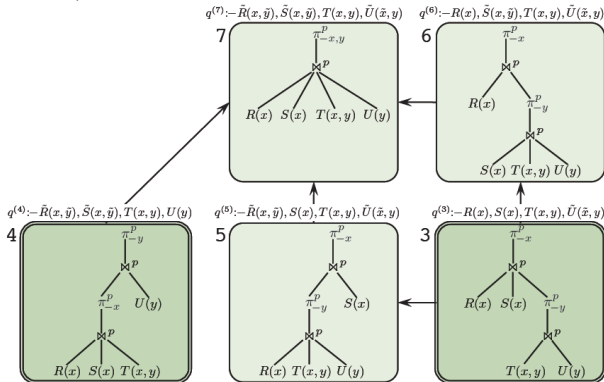


Рис. 2. (а): частичный порядок диссоциации для $q: -R(x), S(x), T(x, y), U(y)$. Безопасные диссоциации - (3-7), минимально безопасные диссоциации - 3 и 4; (б): все 15 возможных планов запроса для q , их частичный порядок и связь с безопасными диссоциациями (3-7)

Чтобы проиллюстрировать эти планы запросов как верхние границы, рассмотрим базу данных с $S=\{(1,1), (1,2), (2,2)\}$, $R=T=U=\{1,2\}$ и все кортежи имеют вероятность $p=0.5$. Тогда q имеет вероятность $83/2^9 \approx 0.161$, в то время как вероятность $q^{(3)}$ равна $169/2^{10} \approx 0.165$, вероятность $q^{(4)}$ - $353/2^{11} \approx 0.172$, обе они являются верхней границей. Коэффициент распространения – это минимальное значение всех минимальных безопасных диссоциаций, и он таким образом равен

$$p(q) = \min_{i \in \{3,4\}} [r(q^i)] = 0.165$$

Можно рекомендовать принять коэффициент распространения как альтернативную семантику для ранжирования результатов запроса посредством вероятностных баз данных. В то время как задача вычисления надежности $r(q)$ является NP-сложной в целом, вычисление коэффициента распространения $p(q)$ всегда происходит в полиномиальном времени (PTIME) по размеру базы данных. Более того, $p(q) \geq r(q)$ и, если q безопасен, то $p(q) \geq r(q)$. Оба утверждения следуют из Следствия 13. Следовательно, распространение запроса – это

естественное расширение надежности от безопасных запросов до всех запросов: если запрос безопасен, то оба коэффициента совпадают; если он не безопасен, то распространение все еще позволяет оценить запрос в полиномиальном времени (PTIME). Исходной идеей было развитие метода, который подходит для распространения запросов в направленных сетях. Теперь можно подтвердить определения диссоциации и распространения запроса, проведя параллель с надежностью сети и распространением: когда граф является $k+1$ -дольным, тогда его две предельные надежности могут быть выражены конъюнктивным k -цепным запросом. Далее коэффициент распространения по этой сети соответствует одному из нескольких возможных диссоциаций этого запроса q . Таким образом, диссоциация запроса является строгим обобщением распространения сети на k -дольном графе. Поэтому распространение запроса определяется как соответствие определенной диссоциации с минимальной надежностью (см. табл. 1).

В отличие от коэффициента распространения в сетях, коэффициент распространения в конъюнктивных запросах дает минимум по всем возможным диссоциациям, и поэтому уникален для каждого запроса и базы данных.

Таблица 1
Связь между надежностью и распространением в сетях и конъюнктивных запросах

Сети / Графы	Конъюнктивные запросы
Надежность сети: Вероятность того, что два узла связаны. Не зависит от направления ребер.	Надежность запроса: Вероятность того, что запрос верен. Не зависит от плана запроса.
Коэффициент распространения: "Связанность" распространяется от источника к цели. Зависит от направленности ребер. Верхний предел надежности.	Коэффициент диссоциации: план запроса оценивается в направлении от листьев к корням. Зависит от выбора диссоциации. Верхний предел надежности.
	Коэффициент распространения: Минимум по всем возможным безопасным диссоциациям. Уникален для данного запроса.

Утверждение 17 (Связь с сетями). Пусть $G=(V,E)$ - $k+1$ -дольный биграф с узлом-источником s и целевым узлом t , где каждое ребро имеет вероятность. Узлы представлены как $V=\{s\} \cup V_2 \cup \dots \cup V_k \cup \{t\}$, а ребра есть $E = \bigcup_i R_i$, где R_i определяет набор ребер от V_i до V_{i+1} ($i \in [k]$). Тогда:

(a) надежность сети G источником-приемником (s, t) равна $r(q)$ с

$q: -R_1(s, x_2), R_2(x_2, x_3), \dots, R_k(x_k, t);$

(b) коэффициент направленного распространения от s к t равен $r(q^\Delta)$ с

$q^\Delta: -R_1^{x_{[3,k]}}(s, x_{[2,k]}), R_2^{x_{[4,k]}}(x_{[2,k]}), \dots, R_k^0(x_k, t) \cdot$

4. Заключение

Работа представляет собой подход к приближенной оценке запросов посредством вероятностных баз данных (ВБД): в этом подходе каждый запрос данных оценивается целиком и полностью в ядре базы данных вычислением постоянного числа планов запроса, каждый из которых обеспечивает верхнюю границу истинной вероятности и ее минимум. Разработан алгоритм, который принимает во внимание важную информацию о схеме БД, чтобы перечислить только минимально необходимые планы среди всех возможных планов. Важно отметить, что этот алгоритм - строгое обобщение всех известных результатов полиномиального времени (PTIME) самосоединяющихся свободных конъюнктивных запросов: запрос является безопасным тогда и только тогда, если алгоритм возвращает один единственный план. Кроме того, подход является обобщением семьи эффективных функций ранжирования сети от графов к гиперграфам.

Литература

1. Dalvi, N.N. Efficient query evaluation on probabilistic databases [Text] / N.N. Dalvi, D. Suciu // VLDB. - 2007. - № 16(4). - P. 523–544.
2. Dalvi, N.N. The dichotomy of probabilistic inference for unions of conjunctive queries [Text] / N.N. Dalvi, D. Suciu // J. ACM. - 2012. - № 59(6). - P. 30.
3. Fuhr, N. A probabilistic relational algebra for the integration of information retrieval and database systems [Text] / N. Fuhr, T. R'Olleke // ACM Trans. Inf. Syst. - 1997. - № 15(1) -P. 32–66.
4. Gatterbauer, W. Oblivious bounds on the probability of Boolean functions [Text] / W. Gatterbauer, D. Suciu // ACM Trans. Database Syst. (TODS). - 2014. - № 39(1). -P. 5.
5. Gradel, E. The complexity of query reliability [Text] / E. Gradel, Y. Gurevich, C. Hirsch // PODS. - 1998. -P. 227 – 234.
6. Olteanu, D. Sprout: Lazy vs. eager query plans for tuple-independent probabilistic databases [Text] / D. Olteanu, J. Huang, C. Koch // ICDE. - 2009. -P. 640–651.
7. Pearl, J. Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference [Text] / J. Pearl // Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, Calif., 1988.
8. Re, C. Query evaluation on probabilistic databases [Text] / C. Re, N.N. Dalvi, D. Suciu // IEEE Data Eng. Bull. - 2006. - № 29(1). -P. 25–31.
9. Vardi, M.Y. The complexity of relational query languages (extended abstract) [Text] / M.Y. Vardi // In STOC. - 1982. - P. 137–146.
10. Switching subsystems within the framework of distributed operational annunciator and monitoring systems: program design features [Text] / O.Y. Kravets, O.Y. Makarov, S.A. Oleinikova, V.M. Pitolin, O.N. Choporov // Automation and Remote Control. - 2013. - № 74(11). - P. 1919-1925.
11. Клейн, К.В. Оптимизация управления качеством в конвейерных системах [Текст] / К.В. Клейн, О.Я. Кравец, Н.И. Послухаев // Машиностроитель. - 2002. - № 12. -С. 32.
12. Особенности программного проектирования коммутационных подсистем в составе распределенных систем оперативного оповещения и мониторинга [Текст] / О.Я. Кравец, О.Ю. Макаров, С.А. Олейникова, В.М. Питолин, О.Н. Чопоров // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Т. 52. - № 2. - С. 50-54.
13. Кравец, О.Я. Управление обучением информатике как информационный процесс [Текст] / О.Я. Кравец // Экономика и менеджмент систем управления. - 2011. - Т. 2. - № 2. - С. 120-129.
14. Аналитические основы моделирования и проектирования многозвенной клиент- серверной системы [Текст] / М.В. Копылов, А.Э. Говорский, Е.А. Солдатов, О.Я. Кравец // Информационные технологии моделирования и управления. - 2010. - № 1 (60). - С. 49-60.
15. Инструментальные средства обеспечения взаимодействия между гетерогенными БД в процессе проектирования информационной системы [Текст] / Ю.Б. Тебекин, А.Э. Говорский, А.А. Соляник, О.Я. Кравец // Системы управления и информационные технологии. - 2011. - Т. 44. - № 1.1. - С. 203-208.
16. Кравец, О.Я. Особенности разработки методов управления базами данных в составе специализированных информационных систем реального времени [Текст] / О.Я. Кравец, Г.И. Шахворостов // Системы управления и информационные технологии. - 2012. - Т. 49. - № 3.1. - С. 147-151.
17. Говорский, А.Э. Подходы к моделированию неоднородных интегральных информационно-управляющих систем [Текст] / А.Э. Говорский, О.Я. Кравец, А.Д. Поваляев // Системы управления и информационные технологии. - 2007. - № 3.1 (29). - С. 131-138.
18. Кравец, О.Я. Управление вероятностными базами данных с большими пакетами и графовыми алгоритмами: вариант решения задачи на основе оценки запроса в ядре СУБД [Текст] / О.Я. Кравец, Нгуен Сон Лам // Экономика и менеджмент систем управления. - 2015. - № 1.2(15). - С. 238-246.

Воронежский государственный технический университет

FEATURES OF A PROBABLE OUTPUT IN BIG DATABASES

Nguyen Song Lam

In article the approach to probable databases control on the basis of requests dissociation and propagation coefficient solving at the algorithmic level a problem of an exact output for the NP full task is considered.

Key words: probable database, control, exact output

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ, ОСНАЩЕННЫХ АДАПТИВНЫМИ КОМПЕНСАТОРАМИ ПОМЕХ

М.Г. Калашников, В.Г. Керков

Рассмотрен способ радиоэлектронного подавления радиолокационных станций, оснащенных адаптивными компенсаторами помех, основанный на использовании эффектов подсвета подстилающих поверхностей; проведена оценка его эффективности

Ключевые слова: радиолокационная станция, способ радиоэлектронного подавления, адаптивный компенсатор помех, подсвет подстилающей поверхности

Одной из эффективных мер повышения помехозащищенности современных радиолокационных станций (РЛС) является применение адаптивных компенсаторов помех (АКП), что обуславливает актуальность поиска эффективных способов преодоления этой меры.

Целью настоящей статьи является обоснование способа радиоэлектронного подавления (РЭП) РЛС, оснащенных АКП, разработка методики и получение результатов оценки его эффективности.

Принцип функционирования систем адаптивной компенсации помех сводится к автоматическому образованию провалов в диаграммах направленности антенн (ДНА) РЛС, ориентированных на источники помех [1]. При этом степень компенсации помех определяется степенью их коррелированности в основном и компенсационном каналах компенсатора, а также мощностью помех, поступающей на вход РЛС.

Основными способами радиоэлектронного подавления РЛС, оснащенных n канальными АКП, являются способы, основанные на создании помех по боковым лепесткам ДНА из $n+1$ точки пространства, либо способы, обуславливающие возможность создания помех, нестационарных по направлению прихода на вход РЛС.

Одним из возможных способов РЭП РЛС с АКП путем создания помех, нестационарных по направлению прихода на вход РЛС, является способ, основанный на использовании эффектов подсвета подстилающих поверхностей (ПП).

Рассмотрим процесс компенсации помех, создаваемых по боковым лепесткам ДНА за счет подсвета ПП, в одноканальном АКП.

При использовании вынесенного относительно защищаемых целей источника помех, действующего с больших дальностей по боковым лепесткам ДНА РЛС, для преодоления систем АКП оказывается возможным создание двухточечных

помех за счет подсвета ПП под малыми углами скольжения, где обеспечиваются малые энергетические потери отражения в зеркальных направлениях.

Очевидно, что при оценке эффективности РЭП систем АКП необходимо учитывать воздействие на такие системы, наряду с протяженными помеховыми сигналами, отраженными от ПП, прямых помеховых сигналов (помех, создаваемых точечным источником излучения в прямом направлении).

Так как при воздействии помех по боковым лепесткам ДНА РЛС внутренние шумы приемников не оказывают существенного влияния на процесс компенсации помех, а полезный сигнал, принимаемый главным лепестком ДНА, практически не ослабляется [1], их влияние на эффективность компенсации помех учитываться не будет.

Помеховые сигналы, принимаемые основной и компенсационной антеннами с углового направления с координатой θ_{01} и m направлений, формируемых в результате соответствующего подсвета ПП, можно записать в виде:

$$\dot{U}_0 = \dot{a}_{01} \dot{F}(\theta_{01}) + \sum_{v=1}^m \dot{a}_v \cdot \dot{F}(\theta_v), \quad (1)$$

$$\dot{U}_k = \dot{a}_{01} \dot{f}(\theta_{01}) + \sum_{v=1}^m \dot{a}_v \cdot \dot{f}(\theta_v), \quad (2)$$

где $f(\theta_v) = f(\theta) \exp\{i \psi(\theta)\}$,

$$\dot{a}_v = A_v(t) \exp\{-j[\omega t + \varphi(t)]\},$$

$A_v(t)$, $\varphi(t)$ - амплитуда и фаза v -го сигнала;

$\dot{F}(\theta)$, $\dot{f}(\theta)$ - комплексные диаграммы направленности, основной и компенсационной антенны РЛС;

$\psi(\theta)$ - набег фазы сигналов в компенсационном канале относительно фазы этих сигналов в основном канале РЛС.

В установившемся режиме самонастройки мощность помех на выходе компенсационного сумматора определяется в соответствии с выражением [1]

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_0^2 \cdot (1 - \rho^2), \quad (3)$$

где

$$\sigma_0^2 = |\overline{U_0}|^2, \quad (4)$$

$$\rho^2 = \frac{|\overline{U_0 \cdot U_k^*}|^2}{|\overline{U_0}|^2 \cdot |\overline{U_k}|^2} \quad (5)$$

Калашников Михаил Григорьевич - ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж), канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, тел. (910) 348-05-90

Керков Владимир Георгиевич - ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж), канд. техн. наук, доцент, тел. (908) 136-05-42

ρ^2 - огибающая коэффициента корреляции напряжений в основном и компенсационном каналах компенсатора (с учётом выравнивания фаз с помощью квадратурных каналов).

Из выражения (3) видно, что степень компенсации помех в квадратурном АКП существенно зависит от величины ρ и полная компенсация помех имеет место при $\rho^2 = 1$. В частности, когерентные немодулированные помехи из произвольного числа точек пространства, которые дают постоянные по времени комплексные амплитуды сигналов на выходах основного и компенсационного каналов, как это следует из (5), если опустить операцию временного усреднения, полностью компенсируются системой АКП.

В связи с этим для эффективного РЭП РЛС с АКП целесообразно использовать такие способы создания помех, которые приводят к декорреляции сигналов, принимаемых основной и компенсационной антеннами РЛС. Для обеспечения такой декорреляции могут быть использованы, как было отмечено выше, быстро флюктуирующие по направлению прихода на вход РЛС помехи, создаваемые за счёт соответствующего подсвета ПП. Очевидно, что максимальная эффективность РЭП РЛС с АКП будет иметь место в случае, если время флюктуации помеховых сигналов по направлению прихода определяется выражением

$$t_{\phi\lambda} \leq 0,2 \dots 0,3 t_k \quad (6)$$

где t_k - постоянная времени сглаживающих цепей компенсатора.

Изменяемые по направлению прихода на вход РЛС помехи могут быть созданы за счёт использования эффектов подсвета ПП, состояние которых характеризуется переменными по времени свойствами из-за волнения растительности, морской поверхности и т.п., а также за счёт движения постановщика помех (доплеровский эффект) при отражении помеховых сигналов от ПП, состояние которых характеризуется как переменными, так и постоянными по времени свойствами (песок, снег, спокойная водная поверхность и т.п.).

При воздействии таких помех на РЛС с АКП происходит срыв адаптивного процесса компенсации и АКП вынужден настраиваться исходя из вновь создаваемого амплитудно-фазового распределения в раскрыве антенной системы РЛС. Поскольку АКП имеет ограниченное быстродействие, он вынужден постоянно адаптироваться, меняя направление формируемых провалов, и значительную часть времени работать в переходном режиме.

В результате воздействия таких помех на РЛС с АКП нарушается корреляция между сигналами в основном и компенсационном приемных каналах РЛС, что приводит к уменьшению величины ρ .

Оценим эффективность РЭП систем АКП за счёт воздействия помех, отраженных от ПП, по боковым лепесткам ДНА перспективных РЛС. Геометрические соотношения при подсвете ПП представлены на рис.1.

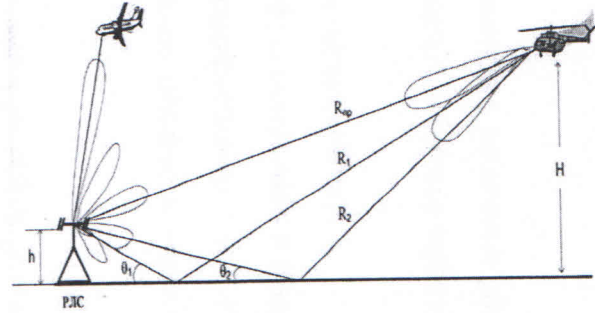


Рис.1. Геометрические соотношения при подсвете подстилающей поверхности.

Подставляя выражение (1) и (2) в (5), аппроксимируя при этом ДН основной антенны РЛС в области боковых лепестков функцией

$F(\theta) = \frac{\sin \pi B \theta}{5 \pi B \theta}$, где $B = \frac{L}{\lambda}$, L - ширина раскрыва основной антенны РЛС, λ - длина волны, и, учитывая, что $\psi(\theta) \approx \pi C \theta$, где $C = \frac{2D}{\lambda}$, D - расстояние между фазовыми центрами основной и компенсационной антенн, в результате несложных преобразований получим

$$\rho^2 = \frac{[K_{\Sigma 1} F(\theta_{01}) \cos \psi(\theta_{01}) + W(\Delta \theta) E_1]^2 + [K_{\Sigma 1} F(\theta_{01}) \sin \psi(\theta_{01}) + W(\Delta \theta) E_2]^2}{[K_{\Sigma 1} F^2(\theta_{01}) + W(\Delta \theta) \cdot K_{\Sigma 2} E_3] \cdot [K_{\Sigma 1} + K_{\Sigma 2}]} \quad (7)$$

где $K_{\Sigma 1} = \frac{P_{01}}{P}$ - коэффициент энергетических потерь мощности прямого помехового сигнала за счёт перемещения ДН антенны системы источника подсвета подстилающих поверхностей;

$K_{\Sigma 2} = \frac{P_0}{P}$ - коэффициент энергетических потерь мощности помеховых сигналов за счёт отражения их от подстилающих поверхностей;

P_{01} - мощность прямого помехового сигнала;

P_0 - суммарная мощность помех, отраженных от ПП;

P - мощность помех, излучаемая источником подсвета ПП;

$W(\Delta \theta) = \frac{1}{\Delta \theta}$ функция яркости [2] (для равномерного распределения мощности в пределах эффективной зоны);

$\Delta \theta$ - пространственный угловой размер эффективной зоны отражения помех от подстилающих поверхностей.

$$E_1 = \frac{1}{10 \pi B} [S_1[\pi(C+B)\theta_2] - S_1[\pi(C+B)\theta_1] - S_1[\pi(C-B)\theta_2] - S_1[\pi(C-B)\theta_1]],$$

$$E_2 = \frac{1}{10 \pi B} [C_1[\pi(C-B)\theta_2] - C_1[\pi(C-B)\theta_1] - C_1[\pi(C+B)\theta_2] - S_1[\pi(C+B)\theta_1]],$$

$$E_3 = \frac{1}{25\pi B} \left\{ [S_i(2\pi B\theta_2) - S_i(2\pi B\theta_1)] - \frac{\theta_1 \sin^2 \pi B\theta_2 - \theta_2 \sin^2 \pi B\theta_1}{\pi B\theta_1\theta_2} \right\},$$

$$S_i(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt - \text{интегральный синус};$$

$$C_i(x) = \int_x^\infty \frac{\cos t}{t} dt - \text{интегральный косинус}.$$

Выражение для мощности помех на выходе компенсационного сумматора, полученное с учетом зависимостей (3), (4), (5) и (7) имеет вид

$$\sigma_{\Sigma}^2 = P\{K_{\Sigma n1} F^2(\theta_{01}) + W(\Delta\theta) K_{\Sigma n2} E_3\} \cdot (1 - \rho^2), \quad (8)$$

где ρ^2 - определяется выражением (7).

На рис.2, 3 представлены зависимости величины ρ^2 от пространственной протяженности $\Delta\theta$ помеховых сигналов, отраженных от ПП, рассчитанные в соответствии с выражением (7) для $\theta_{01} = 0,7^\circ$; $\theta_1 = 1,2^\circ$; $K_{\Sigma n1} = 0$, $K_{\Sigma n2} = 2K_{\Sigma n2}, 10K_{\Sigma n2}$; $B=100$; $C=200$ и 100 соответственно.

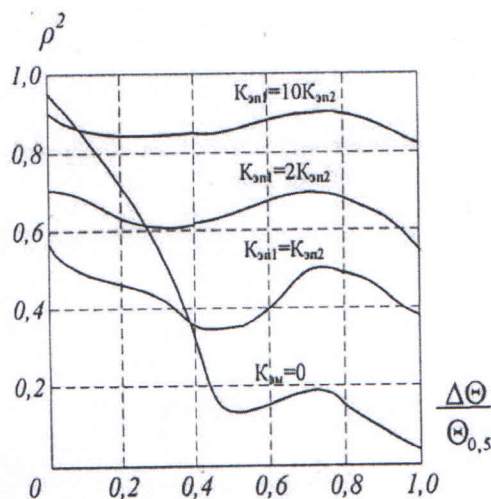


Рис.2. График зависимости ρ^2 от $\Delta\theta/\theta_{0,5}$ при $C = 2 \cdot 10^2$

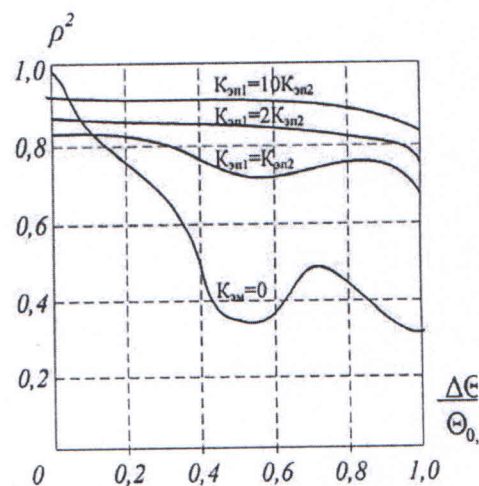


Рис. 3. График зависимости ρ^2 от $\Delta\theta/\theta_{0,5}$ при $C = 10^2$

Из анализа приведенных зависимостей видно, что минимальные значения квадрата огибающей коэффициента корреляции сигналов в основном и компенсационном каналах компенсатора ρ^2 имеют место при одинаковых значениях коэффициентов энергетических потерь точечного (прямого) и протяженного помеховых сигналов. При этом, с ростом протяженности помех, отраженных от ПП, величина ρ^2 , рассчитанная для случая воздействия на РЛС с АКП прямого и протяженного помеховых сигналов, уменьшится незначительно. Воздействие на такие РЛС только протяженных помеховых сигналов приводит к увеличению, как видно из рис.2 и рис.3, декорреляции сигналов в основном и компенсационном приемных каналах с ростом их пространственной протяженности, что обуславливает целесообразность применения помех, отраженных от ПП, при РЭП бортовых РЛС, оснащенных АКП.

Литература

1. Ширман, Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех [Текст]/ Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. - М.: Радио и связь, 1981. - 416с.
2. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника [Текст]/ В.И. Тихонов - М.: Радио и связь, 1982. - 624с.

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

ON AN ELECTRONIC COUNTERMEASURES TECHNIQUE AGAINST RADARS EQUIPPED WITH ADAPTIVE INTERFERENCE CANCELER

M.G. Kalashnikov, V.G. Kerkov

There was discussed an electronic countermeasures (ECM) technique against radars equipped with adaptive interference cancelers based on effect of underlying terrain illumination with the effectiveness evaluation of the described technique performed

Key words: radar, electronic countermeasures technique, adaptive interference canceler, underlying terrain illumination

РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА**Е.И. Воробьева, Р.А. Немцов, П.П. Чураков**

В современном мире системы радиомониторинга играют огромную роль. Они обеспечивают контроль радиоэлектронных средств, извлечение информации из передаваемых сигналов и ее последующую обработку. В связи с этим к системам радиомониторинга предъявляются повышенные требования для обеспечения высокой точности получаемой информации. В данной статье предлагается метод распознавания видов модуляции с использованием статистических параметров

Ключевые слова: моментный анализ, детекторы, распознавание видов модуляции, радиомониторинг

В общем случае под радиомониторингом понимается деятельность по изучению и контролю радиообстановки. Области применения систем радиомониторинга являются:

- измерения и контроль за радиоэлектронными средствами;
- получение информации о работающих передатчиках в определенной местности, определение их типа, основных характеристик и демодуляция/декодирование передаваемой информации;
- наблюдение и обработка данных.

Одной из важных задач, решаемых системой радиомониторинга, является прием (перехват) передаваемых сообщений в контролируемых радиоприемах. В условиях априорной неопределенности относительно вида модуляции, процедура перехвата распадается на два этапа: распознавание вида модуляции и документирование сообщения.

В настоящее время для распознавания вида модуляции широко используются спектральные методы анализа сигналов [1]. Обеспечение данных методов требует применение дополнительной аппаратуры спектрального анализа, что не всегда оправдано. В этой связи представляет интерес исследование возможностей распознавания видов радиопередач на основе признаков, сформированных после прохождения анализируемого сигнала через амплитудный и частотный детекторы, которые входят в состав любой системы радиомониторинга.

Аппаратура перехвата в системах радиомониторинга работает по целеуказанию средств обнаружения, осуществляющих сканирование контрольных частот. В целеуказаниях содержится значение несущей частоты сигнала и

ширины его спектра. Для решения задач перехвата (документирование сообщений) необходимо распознать вид модуляции сигнала и подключить к приемнику соответствующий демодулятор.

В УКВ диапазоне основными видами модуляции при передаче речевых сообщений являются частотная (ЧМ) и амплитудная (АМ) модуляции, поэтому встает задача различения данных видов модуляции.

Поскольку на вход аппаратуры радиоперехвата помимо сигналов воздействуют аддитивные помехи типа белого шума, то в первую очередь необходимо получить информацию о наличии сигнала, для чего используется автоматический поиск активных каналов, где обычно применяются алгоритмы с фиксированным порогом, с плавающим порогом, по накопленному спектру, по превышению эталонного спектра [2].

После обнаружения сигнала для получения информации необходимо определить вид его модуляции. Существующие алгоритмы распознавания вида модуляции принимаемого сигнала основаны на обнаружении нестационарности по частоте в случае ЧМ-сигналов и амплитуде в случае АМ-сигналов [3]. Эти алгоритмы реализованы и протестированы как на искусственно смоделированных, так и на реальных эфирных сигналах, и показали достаточно высокую помехоустойчивость. Однако, недостатком данных алгоритмов являются тесты на стационарность, так как выявление нестационарности в речевых сигналах требует достаточно много времени и исключения пауз между произносимыми словами, да и наличие шума сильно влияет на коэффициент стационарности. А также при наличии паразитной амплитудной модуляции в случае ЧМ-сигналов или отклонениях рабочей частоты сигнала при АМ-сигналах может быть вынесено неправильное решение о принадлежности принимаемого сигнала.

Воробьева Елена Ивановна – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: VorobevaDoc@rambler.ru
Немцов Роман Александрович – ВГТУ, студент, e-mail: TokarevAB@ircoc.vrn.ru
Чураков Петр Павлович – ПГУ, д-р техн. наук, профессор, тел. (8412) 36-82-40

Другим вариантом решения задачи определения модуляционной структуры сигнала является использование методов статистической теории распознавания образов. Постановка задачи распознавания предполагает выбор признаков распознавания, определение их статистических характеристик, формирование эталонных описаний распознаваемых классов, выбор решающего правила отнесения контрольной выборки и способов оценивания ошибок распознавания.

В классической постановке задача распознавания формулируется как задача отнесения некоторой контрольной выборки признаков распознавания $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, N$ к одному из распознаваемых классов $S_1, \dots, S_m$. При этом известные методы распознавания отличаются в основном способами описания $S_1, \dots, S_m$.

В настоящее время хорошо изучена задача распознавания для полностью описанных классов, когда они однозначно определяются функциями распределения $W_i(x) = W(x|S_i)$, либо функциями плотности вероятности $w(x|S_i) = dW(x|S_i)/dx$ и априорными вероятностями их появления p_i . [5].

Однако, для проведения технического анализа модуляционной структуры сигналов систем радиосвязи использование классических методов оптимальной оценки параметров и статистической теории распознавания образов малоэффективно. Требование оперативности настройки обрабатывающей аппаратуры обуславливает необходимость разработки специальных методов определения модуляционных параметров по неклассифицированной выборке фиксированного объема, поэтому практический интерес представляет задача разработки более простого и эффективного метода определения модуляции.

Учитывая случайный характер модулирующего сигнала, в качестве признаков распознавания могут быть использованы статистические характеристики процессов на выходе амплитудного и частотного детекторов. Поскольку перехват предполагает обработку сигналов, модулированных речью, то при выборе признаков распознавания видов модуляции на выходе детекторов, необходимо рассмотреть особенности образования речевого сигнала.

Как известно [4], упрощенную модель речеобразования можно представить в виде линейного фильтра с переменными параметрами, возбуждаемого либо генератором периодических импульсов, либо шумовым генератором. Линейный фильтр с переменными параметрами моделирует полость рта и носоглотки. По-

скольку для большей части звуков форма голосового тракта изменяется медленно, то процесс речеобразования можно считать квазистационарным. Возбуждение голосового тракта в пределах звонких участков речи является квазипериодической функцией с медленно изменяющимся периодом. Спектр звонких звуков, таким образом, представляет собой ряд частотных составляющих, амплитуда которых определяется откликом голосового тракта. В спектре звонких звуков ярко выделяется частота основного тона, соответствующая частоте колебаний голосовых связок.

В процессе демодуляции на вход детектора подается модулированное колебание, содержащее только высокочастотные составляющие, а на выходе выделяется напряжение с низкочастотным спектром передаваемого сообщения. Следовательно, детектирование сопровождается трансформацией частотного спектра и не может быть осуществлено без применения нелинейных цепей. В цифровой технике реализация нелинейного элемента с заданными характеристиками является затруднительной, поэтому принято использовать преобразование Гильберта для построения демодуляторов [7].

Наиболее подходящей структурой для реализации цифровых преобразований Гильберта, являются нерекурсивные КИХ-фильтры с линейной фазочастотной характеристикой, что является важным условием для синтеза преобразователей Гильберта.

Как уже упоминалось, в условия радиоперехвата на речевой сигнал накладываются шумы. Исходя из этого, распознавание вида модуляции производится на фоне шумовых помех. Кроме шумовых помех, формируемых на входе аппаратуры радиоперехвата с гауссовским законом распределения, имеются помехи, обусловленные шумами цифровой обработки с законом распределения отличным от нормального. В зависимости от вида модуляции принимаемого сигнала, на выходе амплитудного и частотного детекторов будет наблюдаться смесь сигнала и помех с различным отношением сигнал/помеха, изменяющим форму распределения амплитуды данной смеси.

Форма закона распределения достаточно полно отражается в двух моментах: дисперсии и эксцесса.

Эксцесс или точнее, коэффициент эксцесса измеряет "пикообразность" распределения. Если эксцесс значительно отличен от 0, то функция плотности либо имеет более закругленный, либо более острый пик, чем пик плотности нормального распределения. Функция плотно-

сти нормального распределения имеет эксцесс равный 0. Оценка эксцесса (выборочный эксцесс) вычисляется как

$$\xi = \frac{n \cdot (n+1) \cdot M_4 - 3 \cdot M_2^2 \cdot (n-1)}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot \sigma^4}, \quad (1)$$

где M_j – равен $(x_i - \text{Mean}_x)^j$;

n – число наблюдений;

σ^4 – стандартное отклонение (*сигма*), возведенное в четвертую степень.

Дисперсия учитывает мощность случайного процесса на выходе детекторов. И, поскольку с выходов детекторов сигнал проходит через полосовой фильтр, можно предположить, что мощность процесса на выходе амплитудного детектора при подаче на его вход амплитудно-модулируемого сигнала будет больше, чем, если на входе присутствует частотно-модулированное колебание или только шум.

На выходе частотного детектора, поскольку он является более помехозащищенным, при подаче его на вход частотно-модулируемого сигнала в условиях присутствия в смеси гармонических составляющих речевого сигнала, вершина графика закона распределения будет «упрощаться», что и должно найти отражение в значениях эксцесса.

Поэтому в качестве основных признаков для распознавания вида модуляции предлагается использование именно этих моментов.

Гистограммы функций плотности распределения дисперсии и эксцесса строятся по результатам статистических испытаний, используя рекомендации для расчета количества интервалов группировки.

Типичной рекомендацией первой группы является утверждение [8], что группирование необходимо проводить так, чтобы получалось не менее шести и не более двадцати интервалов.

Ко второй группе относятся рекомендации [9], в соответствии с которыми оптимальное число интервалов группирования сильнее зависит от эксцесса распределения ξ , чем от объема выборки n , и может быть рассчитано по формуле:

$$m = \frac{\xi + 1.5}{6} \cdot n^{0.4}. \quad (2)$$

В принципе можно использовать рекомендации как первой, так и второй группы, но в данном случае для расчета количества интервалов группировки при построении гистограмм использовалось выражение (2).

Построенные по результатам статистических испытаний гистограммы функций плот-

ности распределения дисперсии и эксцесса на выходе амплитудного и частотного детекторов соответственно для различных сигналов представлены на рисунках 1 и 2.

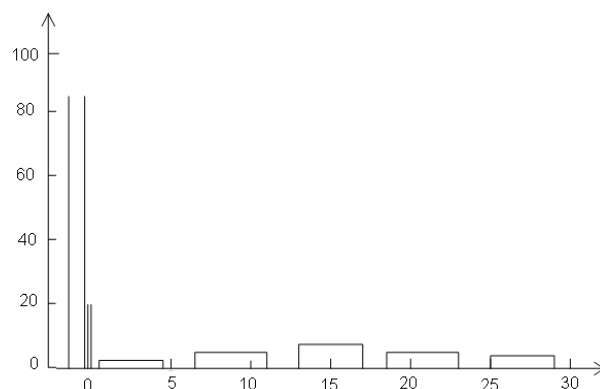


Рис. 1. Распределение эксцесса на выходе частотного детектора при поступлении на вход смеси ЧМ-сигнала, АМ-сигнала и шума

Как видно на рисунке 1 распределение, соответствующее ЧМ сигналу при прохождении частотного детектора, не пересекается с остальными распределениями, что позволяет при пороге равном $\varepsilon = -1.3$, перейти к градации данного признака на два уровня:

$\varepsilon > \bar{I}$ – наличие АМ-сигнала или шума;

$\varepsilon < \bar{I}$ – наличие ЧМ-сигнала.

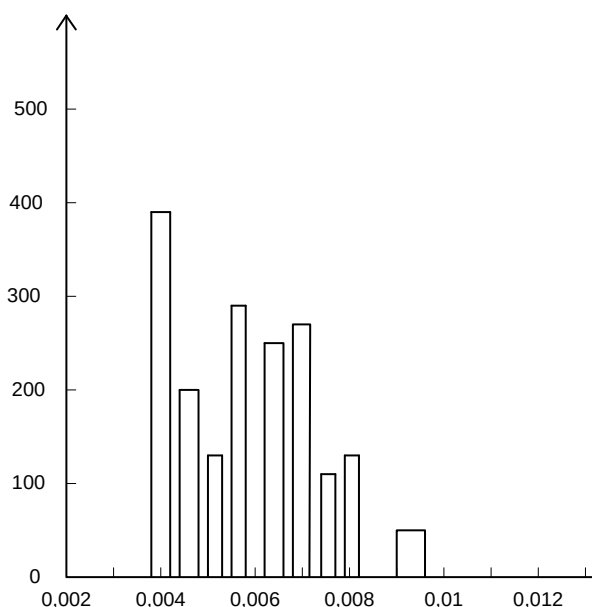


Рис. 2. Распределение дисперсии на выходе амплитудного детектора при поступлении на вход смеси АМ-сигнала и шума

Анализ распределений на рисунке 2 в области пересечения функций, соответствующих шумовому и АМ сигналу показывает, что также при пороге $\sigma^2 = 0.0097$, возможен переход к градации признака на два уровня:

$\sigma^2 < \bar{I}$ – присутствует только шум;

$\sigma^2 > \bar{I}$ – присутствует сигнал с АМ.

На основе данного анализа разработан алгоритм принятия решений, блок-схема которого представлена на рисунке 3.

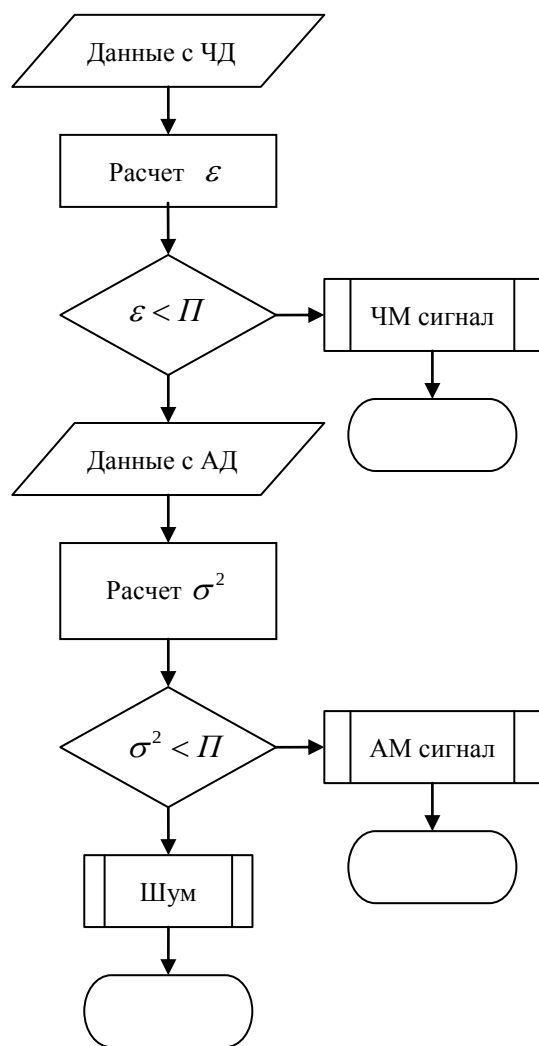


Рис. 3. Алгоритм принятия решений

Как видно данный метод распознавания вида модуляции достаточно прост и имеет преимущества перед традиционными. Он не требуется применение дополнительной аппаратуры спектрального анализа, отсутствует влияние нестационарности на принятие решения, позволяет оперативно осуществлять настройку обрабатывающей аппаратуры.

Литература

1. Оппенгейм, А.В. Цифровая обработка сигналов [Текст]: пер. с англ. / А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер. – М. : Связь, 1979. – 416 с.
2. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И.С. Гоноровский – М.: Радио и связь, 1986. – 513 с.
3. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст]: пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989. – 540 с.
4. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М. : Мир, 1978. – 848 с.
5. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов [Текст] / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. – М. : Радио и связь, 1986. – 264 с.
6. Сосулин, Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов [Текст] / Ю.Г. Сосулин – М. : Советское радио, 1978. – 320 с.
7. Маркел, Дж. Линейное предсказание речи [Текст]: пер. с англ. / Дж. Маркел, А.Х. Грэй. – М. : Связь, 1980. – 308 с.
8. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст]: пер. с англ. / С.Л. Марпл-мл. – М. : Мир, 1990. – 584 с.
9. Рабинер, Л.Р. Цифровая обработка речевых сигналов [Текст]: пер. с англ. / Л.Р. Рабинер, Р.В. Шафер – М. : Радио и связь, 1981. – 490 с.
10. Picone, J. Signal Modeling Techniques in Speech Recognition / J. Picone // Proc. of the IEEE, September 1993, vol. 81, no 9. – P. 1215-1247.
11. Rabiner, L.R. Fundamentals of Speech Recognition / L.R. Rabiner, B.H. Juang. – Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1993. – 507 p.

Воронежский государственный технический университет
Пензенский государственный университет

RECOGNITION OF SIGNALS MODULATION TYPE IN THE RADIO MONITORING SYSTEMS

E. I. Vorobjeva, R.A. Nemtcov, P.P. Churakov

Radio monitoring systems play a huge role today. They provide control of radio-electronic means, retrieving information from the transmitted signal and its subsequent processing. In this regard, the requirements to radio monitoring systems are increased for high precision on-obtainable information. In this paper we present a method for signals modulation types recognition using statistical parameters.

Key words: torque analysis, detectors, recognition of modulation types, radio monitoring

УГЛОВАЯ ДИСПЕРСИЯ АНТЕННЫ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Останков, И.А. Кирпичёва, А.И. Рябчунов

Благодаря высокому КПД на миллиметровых волнах перспективны антенны дифракционного излучения (АДИ). Принцип действия АДИ основан на пространственном преобразовании дифракционной решеткой свободной волны в поверхностную волну замедляющей структуры. Для АДИ характерна угловая дисперсия. Различные варианты реализации антенны требуют повышенной или, напротив, ослабленной угловой дисперсии. В статье описана упрощенная математическая модель для оценки угловой дисперсии антенны с типовой геометрией излучающего раскрыва. Представлено обсуждение результатов исследования. Установлены предельные значения угло-частотной чувствительности и углового сектора сканирования АДИ. Выявлена зависимость угло-частотных характеристик АДИ от параметров излучающего раскрыва

Ключевые слова: антенна дифракционного излучения, планарный диэлектрический волновод, дифракционная решетка, угловая дисперсия, угло-частотная чувствительность, сектор сканирования

Принцип работы АДИ связан с пространственной трансформацией дифракционной решёткой принимаемой свободной волны в поверхностную волну замедляющей системы [1, 2]. Для такого рода трансформации характерен высокий КПД, что, во многом, и определяет повышенный интерес разработчиков к АДИ на крайне высоких частотах.

АДИ относятся к антенным решёткам с последовательным типом питания элементов. В связи с этим таким антеннам присуща зависимость углового положения максимума диаграммы направленности (ДН) от частоты (электрического размера периода дифракционной решётки) и коэффициента замедления поверхностной волны в распределительно-излучающей системе [3]. В зависимости от назначения АДИ угловая дисперсия должна быть либо ослаблена, либо усилена. В первом случае обеспечивается возможность функционирования АДИ в расширенной полосе частот, в пределах которой отклонение максимума главного лепестка ДН не выходит за пределы его ширины [4], что необходимо в широкополосных системах связи. Второй случай актуален при реализации частотного сканирования ДН [1, 5], положенного в основу работы различного рода радаров. В связи с этим представляется целесообразным исследовать угло-частотную чувствительность АДИ, распределительно-излучающая система которой образована планарным диэлектрическим волноводом (ПДВ, поз. 1 на рис. 1), размещенным над дифракционной решёткой отражательного типа (поз. 2). Такая электродинамическая схема, как следует из работ [1, 6], весьма привлекательна при реализации эффективных антенн КВЧ, предназначенных для частотного сканирования или работы в полосе частот с фиксированным угловым направлением главного лепестка ДН. Необходимость указанного исследования во многом обуслов-

лена тем, что подобного рода сведения, приводимые в научной и учебной литературе, являются весьма обрывочными (см., например [2, 7]) и не позволяют быстро и корректно выбрать оптимальные параметры замедляющей структуры в виде экранированного решёткой ПДВ для обеспечения требуемой угловой дисперсии проектируемой АДИ.

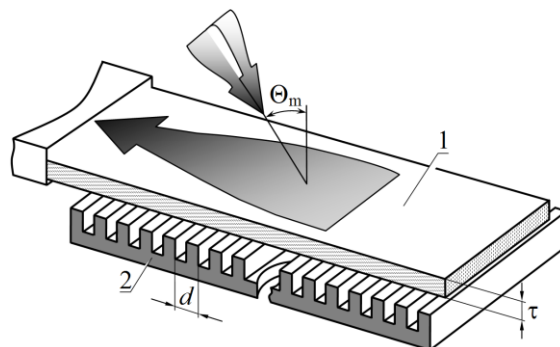


Рис. 1. Типовая электродинамическая схема АДИ

Цель работы — на основе упрощенной электродинамической модели исследовать угло-частотную чувствительность рассматриваемой схемы АДИ для разных материалов и толщины ПДВ, а также электрического размера периода решётки и, тем самым, частично устранить дефицит информации, необходимой при разработке современных АДИ применительно к СВЧ и КВЧ.

Для достижения поставленной цели целесообразно ввести ряд ограничений и идеализаций, позволяющих эффективным образом математически формализовать задачу анализа.

Будем полагать, что ширина излучающего раскрыва АДИ в направлении однородности элементов решётки составляет 10λ и более, длина — не менее $(20 - 25)\lambda$, где λ — длина волны в свободном пространстве. При таких условиях конечную металло-диэлектрическую структуру в виде экранированного решёткой ПДВ вполне можно рассматривать как бесконечно протяжённую [2, 8].

Разумно также считать, что в немагнитном диэлектрическом материале ПДВ, характеризуемом

вещественной относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ_r), а также в металлических элементах решётки полностью отсутствуют тепловые потери. Такое допущение вполне приемлемо в длинноволновой части КВЧ при условии использования диэлектрика с малым тангенсом угла диэлектрических потерь и металла с высокой проводимостью.

Ещё одним предлагаемым допущением, позволяющим значительно упростить математическую модель при сохранении её функциональности и информативности, является замена дифракционной решётки гладким металлическим экраном. Следует отдавать себе отчёт в том, что гладкий экран не является электродинамическим эквивалентом дифракционной решётки. Основанием для замены является слабая электродинамическая связь ПДВ с решёткой. Ослабление такой обратной связи в АДИ, как правило, имеет место при удалении ПДВ от поверхности решётки — увеличении толщины воздушного зазора (r). Экспериментальные данные, представленные в [2, 8], свидетельствуют о том, что воздушный зазор в $(2 - 3)\lambda$ практически полностью устраняет влияние профиля экранирующей дифракционной решетки на замедление поверхностной волны и, как следствие, на угловое направление максимума ДН при фиксированной длине волны. В результате задача расчёта замедления фазовой скорости поверхностной волны при замене решётки гладким экраном существенно упрощается.

Таким образом, для анализа угловой дисперсии АДИ с раскрытием в виде экранированного решёткой ПДВ предлагается использовать двухмерную неограниченную в продольном направлении модельную структуру (рис. 2), в которой дифракционная решётка заменена гладким металлическим экраном, а возбуждение осуществляется собственной волной ПДВ заданного поляризационного качества.

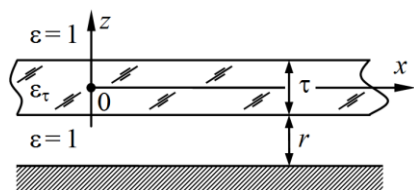


Рис. 2. Модельная структура для анализа угловой дисперсии АДИ

При возбуждении модельной структуры собственной волной ПДВ E -типа (с вектором напряженности электрического поля, ориентированным в плоскости рис. 2) замедление фазовой скорости поверхностной волны в структуре несложно рассчитать на основе решения полученного в [9] дисперсионного уравнения. Дисперсионное уравнение для постоянной распространения собственной волны E -типа ПДВ, экранированного гладким металлическим экраном, адаптированное к использованным обозначениям, имеет вид:

$$j \operatorname{tg}(\eta \tau) \left[\frac{\gamma \epsilon_r}{\eta} (1 - e^{j2\gamma r}) + \frac{\eta}{\gamma \epsilon_r} (1 + e^{j2\gamma r}) \right] = 2, \quad (1)$$

где $\gamma = \sqrt{k^2 - \beta^2}$, $\eta = \sqrt{k^2 \epsilon_r - \beta^2}$, $k = 2\pi/\lambda$;

j — мнимая единица ($j = \sqrt{-1}$);

τ — толщина ПДВ (рис. 1 и 2)

β — искомая постоянная распространения поверхностной волны (в направлении Ox), определяющая коэффициент замедления фазовой скорости волны: $\xi = \beta/k$.

На основе коэффициента замедления фазовой скорости ξ рассчитывается угловая ориентация главного лепестка ДН [3]

$$\Theta_m = -\arcsin \left(\xi + n \cdot \frac{\lambda}{d} \right) \quad (2)$$

($n = -1$ — дифракционный порядок, d — период дифракционной решётки) и угло-частотную чувствительность АДИ [10]:

$$\vartheta = \frac{\partial \Theta_m}{\partial \lambda / \lambda}. \quad (3)$$

В широко известной среде математического моделирования составлена программа для расчёта частотных характеристик АДИ. Приведенные ниже результаты получены с её использованием.

На рис. 3 - 6 представлены полученные расчётные зависимости. На рисунках *a*, *б* по горизонтали отложены значения электрического размера периода решётки (d/λ), пропорциональные частоте излучаемой антенной волны. По вертикали указаны значения углового направления максимума главного лепестка ДН (Θ_m) в градусах и угло-частотной чувствительности АДИ (ϑ) в градусах на процент изменения частоты. Рисунки *в* представляют собой зависимости относительной полосы частот от заданного углового сектора сканирования ДН "вверх" относительно нормали к поверхности излучающего раскрытия. Расчёт выполнен для разных значений относительной диэлектрической проницаемости материала ПДВ (ϵ_r) и его толщины (τ). Предполагалось, что для заданных ϵ_r и r толщина ПДВ такова, что обеспечивает существование лишь одной его собственной волны (моды) E -типа [11]. Толщина воздушного зазора (r) взята меньшей указанного выше значения в $(2 - 3)\lambda$. Обусловлено это тем, что увеличение зазора до указанных величин приводит к снижению излучательной способности АДИ, характеризующей её КПД. Поэтому при расчётах целесообразно, на наш взгляд, взять воздушный зазор между ПДВ и решёткой (экраном) равным периоду решётки (d), который в одноволновом режиме (ДН с одним дифракционным лепестком) не превышает λ . В большинстве случаев такая величина зазора не приводит к заметному влиянию решётки на дисперсионные свойства АДИ.

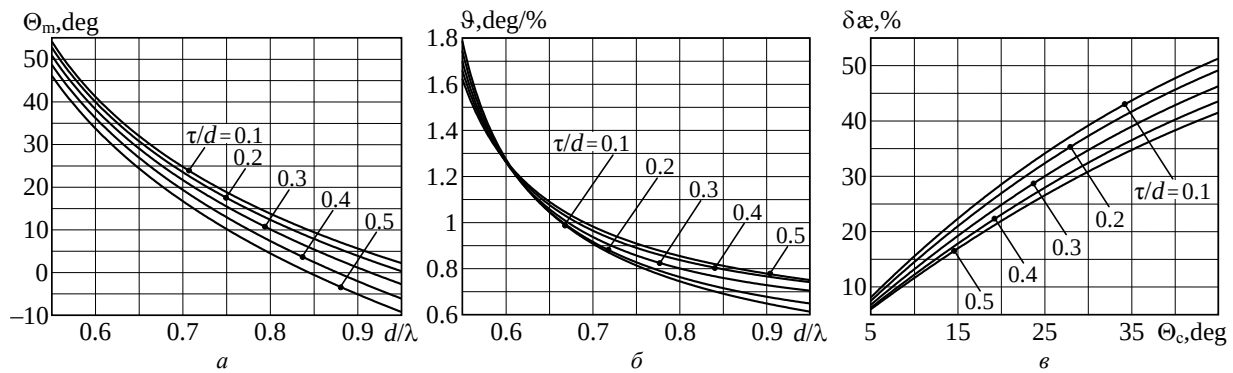


Рис. 3. Дисперсионные характеристики АДИ при $\epsilon_r=2$ и разной толщине ПДВ

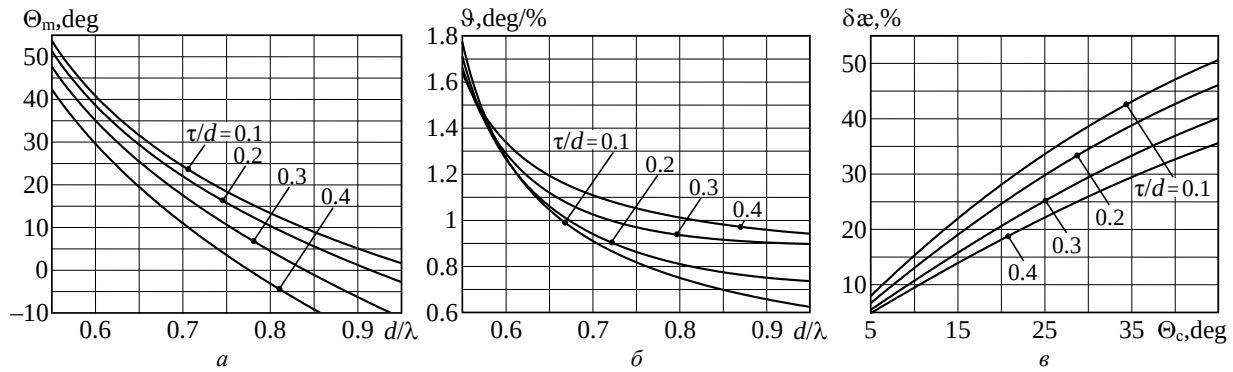


Рис. 4. Дисперсионные характеристики АДИ при $\epsilon_r=3$ и разной толщине ПДВ

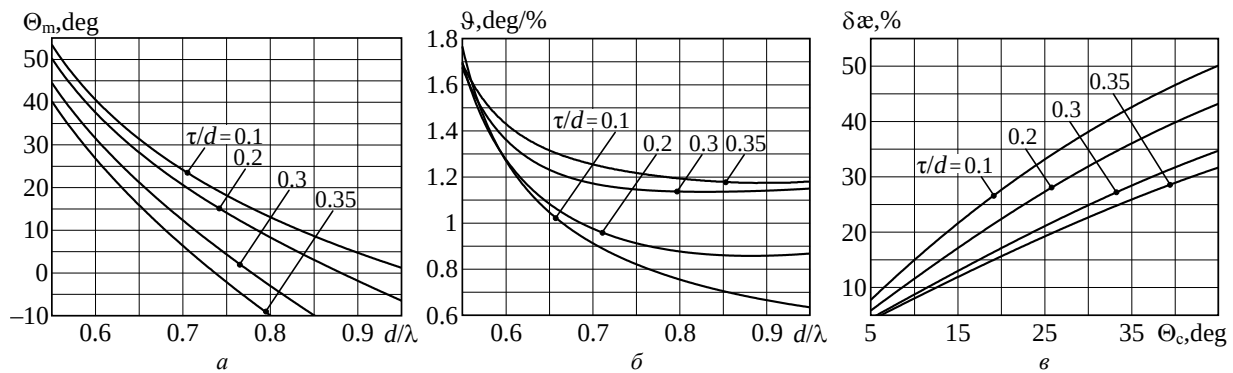


Рис. 5. Дисперсионные характеристики АДИ при $\epsilon_r=4$ и разной толщине ПДВ

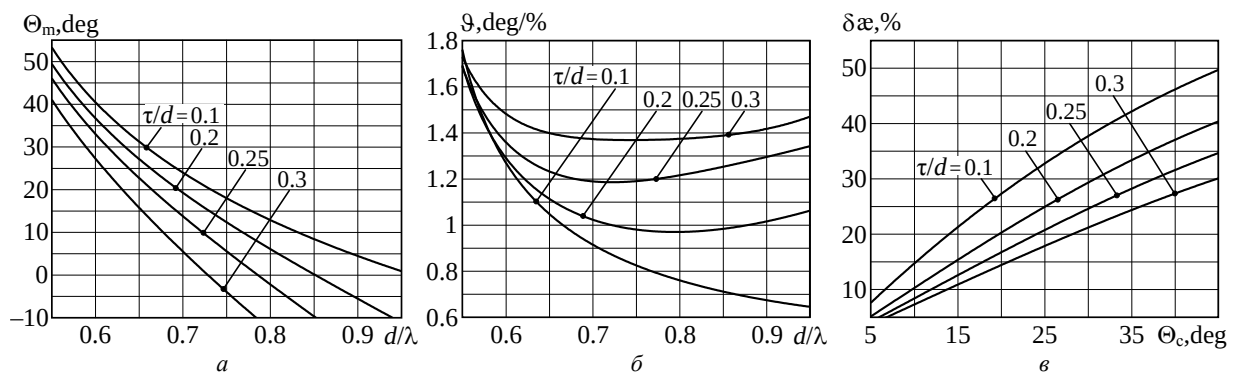


Рис. 6. Дисперсионные характеристики АДИ при $\epsilon_r=5$ и разной толщине ПДВ

Из полученных данных следует:

1) при слабой связи ПДВ и решётки угло-частотная чувствительность АДИ, обусловленная дисперсионными свойствами замедляющей структуры, может составлять от 0.6 до 1.8 градуса на процент изменения частоты;

2) если толщина ПДВ составляет $0.1d$ и менее, то различия дисперсионных зависимостей, характерных для разных диэлектрических материалов (значений ϵ_r), несущественны;

3) для ПДВ с толщиной, превышающей $0.1d$, наибольшая угло-частотная чувствительность при

направлениях максимума ДН, не превышающих $(40 - 45)^\circ$, характерна для случаев большего ϵ_r ; чем больше толщина ПДВ τ , тем выше чувствительность АДИ и существеннее степень различия угло-частотных характеристик, полученных для разных диэлектрических материалов (ϵ_r);

4) при фиксированной толщине ПДВ τ увеличение ϵ_r приводит к уменьшению абсолютных значений угло-частотной характеристики $\Theta_m(d/\lambda)$, поэтому угловой сектор сканирования, условно ограничиваемый с одной стороны направлением по нормали к ПДВ, также уменьшается;

5) для одного и того же диэлектрического материала (ϵ_r) с увеличением толщины ПДВ (τ) уменьшается угловой сектор сканирования; при этом в области малых значений частотного параметра d/λ угло-частотная чувствительность снижается, в области больших значений d/λ — несколько увеличивается; чем больше ϵ_r , тем значительнее различия ширины углового сектора и величины угловой чувствительности при отличных значениях толщины τ .

Представленные в работе расчётные данные об угловой дисперсии позволяют осуществить выбор конкретных параметров ПДВ, используемого в распределительно-излучающей системе АДИ с требуемой угло-частотной чувствительностью. Это даёт возможность упростить синтез АДИ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 13-08-97538-р_центр_а).

Литература

1. Евдокимов, А.П. Антенны дифракционного излучения [Текст] / А.П. Евдокимов // Физические основы приборостроения. — 2013. — Т. 2, № 1. — С. 108-124.

2. Шестопапов, В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т. 1. Открытые структуры [Текст] / В.П. Шестопапов. — Киев: Наукова думка, 1985. — 216 с.

3. Хансен, Р.С. Фазированные антенные решётки [Текст] / Р.С. Хансен; пер. с англ. под ред. А.И. Синани. — М.: Техносфера, 2012. — 558 с.

4. Останков, А.В. Оптимизация распределительно-излучающей системы дифракционной антенны по критерию минимума угловой дисперсии в полосе частот [Текст] / А.В. Останков, Ю.Е. Калинин, Ю.С. Сахаров // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2013. — Т. 9, № 6.3. — С. 30-32.

5. Климов, А.И. Разработка и исследование плоских дифракционных антенн СВЧ и КВЧ диапазонов с электрически управляемыми характеристиками [Текст] / А.И. Климов. — Воронеж: Научная книга, 2010. — 118 с.

6. Останков, А.В. Ретроспективный анализ возможностей, конструкций и основных характеристик дифракционных антенн вытекающей волны [Текст] / А.В. Останков // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2010. — Т. 6, № 8. — С. 75-81.

7. Дифракционные решетки в антеннах СВЧ и КВЧ диапазонов волн [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Юдин, Ю.Г. Пастернак, А.В. Останков, К.Б. Меркулов. — Воронеж: ВГТУ, 2002. — 180 с.

8. Евдокимов, А.П. Дифракционные явления в антеннах вытекающих волн [Текст] / А.П. Евдокимов, В.В. Крыжановский // Антенны. — 2003. — № 3-4 (70-71). — С. 50-56.

9. Фельд, Я.Н. Основы теории антенн [Текст]: учеб. пособие для вузов / Я.Н. Фельд, Л.С. Бененсон. — М.: Дрофа, 2007. — 491 с.

10. Вендик, О.Г. Антенны с электронным движением луча. Введение в теорию [Текст] / О.Г. Вендик, М.Д. Парнес; под ред. Л.Д. Бахраха. — М.: Радиотехника, 2001. — 250 с.

11. Взятых, В.Ф. Диэлектрические волноводы [Текст] / В.Ф. Взятых. — М.: Сов. радио, 1970. — 216 с.

Воронежский государственный технический университет

THE ANGULAR DISPERSION OF ANTENNA WITH DIFFRACTION RADIATION

A.V. Ostankov, I.A. Kirpicheva, A.I. Ryabchunov

Antennas with diffraction radiation (ADR) are perspective due to the high efficiency in the millimeter waves. The action of ADR is based on spatial transformation of free wave into surface wave of slow-wave structure by diffraction grating. The ADR is characterized by angular dispersion. Different embodiments of antenna are required of increase or opposite, attenuation of the angular dispersion. The article describes the simplified mathematical model to estimate the angular dispersion of the antenna with typical geometry of radiating aperture. Herein a discussion of research results. Limits are placed on the angular-frequency-dependent sensitivity and angular scan sector of the ADR. In this article was found the dependence of angular-frequency characteristics from the radiation aperture parameters

Key words: antenna with diffraction radiation, planar dielectric waveguide, diffraction grating, angular dispersion, angular-frequency-dependent sensitivity, scan sector

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ СВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Н.А. Самоцвет

Приводится описание взаимосвязи технических и информационных показателей, применяемых для количественной оценки радиоэлектронной защиты систем связи с кодовым разделением каналов. Дана оценка точности исходных данных для расчета показателей с учетом специфики принципов построения цифровых систем связи с кодовым разделением

Ключевые слова: показатели радиоэлектронной защиты, системы связи с кодовым разделением каналов, плотность распределения вероятностей

В условиях усложнения радиоэлектронной и электромагнитной обстановки задача повышения помехоустойчивости цифровых каналов связи становится все более актуальной. Одним из основных способов повышения помехоустойчивости в современных средствах связи является применение широкополосных сигналов (ШПС). С этой целью в них реализуется модуляция несущей фазоманипулированной псевдослучайной последовательностью (ПСП). Оптимальная обработка таких сигналов в приемных устройствах со сжатием во времени позволяет увеличить отношение сигнал-помеха на выходе приемника. Широкополосные технологии находят все более широкое применение в системах связи с кодовым разделением каналов (CDMA). В настоящее время для оценки радиоэлектронной защиты (РЭЗ) систем связи применяют большое количество показателей. Наряду с техническими параметрами электромагнитной совместимости передатчиков и приемников РЭС цифровой радиосвязи общепринятыми для оценки помехозащищенности систем радиосвязи техническими показателями являются отношение сигнал-шум, сигнал-помеха, защитное отношение, которые определяют опытным путем при испытании средства связи на помехозащищенность. Применительно к цифровым средствам связи более удобным техническим показателем помехозащищенности является BER (средняя вероятность ошибки на бит). Указанные показатели связаны друг с другом. На практике в процессе испытаний средств связи на помехозащищенность определяют все указанные показатели различными экспериментальными методами. Испытания РЭС на радиоэлектронную защиту включают также исследование их помехозащищенности и оценку качества (опасности) преднамеренных и непреднамеренных радиопомех различного вида. При этом помехозащищенность системы радиосвязи и эффективность системы радиоэлектронного подавления оценивают общими показателями качества (указанными выше).

На основе полученных инструментальными методами технических показателей помехозащищенности рассчитывают информационные показатели помехозащищенности, например, относительные информационные потери, вероятность передачи заданного объема цифровой информации с требуе-

мым качеством или вероятность радиоэлектронного подавления цифрового канала связи помехой с заданными параметрами, дальность радиоэлектронного подавления канала связи и др.

Целью статьи является исследование взаимосвязи показателей РЭЗ в иерархической системе показателей: отношение сигнал-шум до цифровой обработки отношения сигнал-шум после цифровой обработки сигнала в канале связи и уровня ошибок BER информационных потери в канале при воздействии шумов и помех применительно к системам связи с кодовым разделением каналов.

Технические показатели РЭЗ и методы их оценки (первый уровень иерархии).

Широко применяемый технический показатель качества цифрового канала - отношение E_b / N_0 - это нормированный вариант отношения сигнал-шум (SNR – Signal Noise Ratio) на входе приемника цифрового канала связи, где энергия бита определяется как $E_b = ST$, где S - мощность, с которой передается бит информации в течение времени его передачи T . N_0 - это спектральная плотность мощности шума в полосе, соответствующей символю скорости передачи, $N_0 = \frac{N}{W}$ - мощность шума N в широкой полосе частот, соответствующей скорости передачи. Битовая скорость определяется как $R = \frac{1}{T}$.

Показатель E_c / N_0 - это отношение сигнал-шум на выходе приемника цифрового канала связи.

Указанные показатели определяются экспериментально с помощью современных цифровых измерительных приемников, анализаторов спектра и векторных анализаторов цепей [1]. Аппаратурное обеспечение энергетических показателей помехозащищенности является довольно сложным, поэтому на практике часто применяют экспериментально-расчетные методы их определения на основе соотношения

$$E_b / N_0 = 10 \lg(S / N_0) + 10 \lg(W / R). \quad (1)$$

Среди показателей, характеризующих отношение мощностей, также широко используется отношение несущая/шум, которое показывает, во сколько раз мощность S принимаемой модулированной высокочастотной несущей на выходе приемного фильтра больше мощности шума N , порождаемого совместным действием всех источников шума данного тракта:

$$C / N = E_b / N_0 - 10 \lg(W / f_c m), \quad (2)$$

где f_c - символьная скорость;

$m = \log_2 M$ - коэффициент мапинга (число бит на символ информации).

Технический показатель BER определяется экспериментально либо рассчитывается через энергетическое отношение SNR по формуле:

$$BER = Q\left(\sqrt{\frac{SNR}{2}}\right), \quad (3)$$

где $Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ - функция ошибок (erfc).

Выражение для расчета вероятности ошибки (3) используется также и при воздействии помех в полосе модулирующих частот. В случае когерентной демодуляции широкополосных сигналов с кодовым разделением с учетом (3) имеем

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_c}{N_i(f)}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{P_c f_{pn}}{P_i f_c}}\right), \quad (4)$$

где $N_i(f)$ - спектральная плотность мощности помехи в полосе частот f_{pn} , P_c , P_i - мощности сигнала и помехи, соответственно.

Из анализа (4) следует, что вероятность ошибки в системе с расширенным спектром определяет отношение мощности сигнала к эффективной мощности помехи. Степень ослабления узкополосной помехи определяется отношением частоты следования символов к скорости передачи, поэтому выигрыш при

обработке может быть определен как $\frac{f_{pn}}{f_c}$. Выигрыш при обработке формально определяется как отношение сигнал-помеха на выходе демодулятора к отношению сигнал-помеха на входе приемника [4]

$$V = \frac{(P_c / P_i)_{вых}}{(P_c / P_i)_{вх}} \quad (5)$$

Информационные показатели РЭЗ (второй уровень иерархии)

Наиболее распространенными на практике информационными показателями РЭЗ РЭС являются вероятность ошибочного приема символьной или пакетной информации и относительные информационные потери.

Вероятность ошибочного приема сообщения (пакета) (PER, Package Error Rate) определяется по формуле [2]:

$$PER = \sum_{v=t+1}^n C_v^n P_{ou}^v (1 - P_{ou})^{n-v}, \quad (6)$$

где P_{ou} - вероятность ошибки байта на входе декодера;

n - длина кодовой последовательности;

t - число гарантированно исправляемых байт кодом Рида-Соломона.

Для увеличения помехоустойчивости сигналов в системах с кодовым разделением применяют помехоустойчивое кодирование. В качестве кода, исправляющего ошибки, часто используется код Рида-Соломона.

В работе [3] предложен удобный информационный показатель помехозащищенности цифровых РЭС связи: относительные информационные потери (ОИП) на выходе

$$\gamma_{OK}(q, M) = \exp\{-B_1(M)q^2\}, \quad (7)$$

для ЦРК с ортогональными сигналами и некогерентной обработкой:

$$\gamma_{OH}(q, M) = \exp\{-B_2(M)q^2\}, \quad (8)$$

где $B_1(M)$, $B_2(M)$ - параметры упорядочения характеристик ОИП ЦРК, которые соответствуют M -позиционным сигналам;

q - отношение сигнал-помеха (по напряжению) на входе приемника цифрового радиоканала.

Показатель помехозащищенности связан с энергетическим отношением сигнал-шум через относительные потери информации следующим образом:

$$h = \frac{1}{q} = \left[\frac{\ln \gamma_i(q=1)}{\ln \gamma_{tr}} \right]^{\frac{1}{\psi}}, \quad (9)$$

где ψ - параметр, зависящий от вида обработки сигнала в ЦРК связи; $\gamma_i \in \{\gamma_{OK}, \gamma_{OH}\}$.

К числу информационных показателей РЭЗ относится также дальность радиоэлектронного подавления цифрового радиоканала R_{Π} которую определяют по формуле:

$$R_{\Pi} = \sqrt{\frac{(\ln \gamma / \ln \gamma_{tr})^{1/\psi} P_{\Pi} G_{\Pi} G_{\Pi\Pi} \eta \xi R_c^2}{P_c G_c G_{\Pi\Pi}}}, \quad (10)$$

где γ определяется по формулам (6) или (7);

γ_{tr} - требуемое значение безразмерного показателя ОИП;

G_{Π} - КНД антенны передатчика помех, раз;

P_{Π} - мощность передатчика помех (средняя), Вт;

$G_{\Pi\Pi}$ - КНД антенны приемника средств связи в направлении на передатчик помех, раз;

η - показатель, учитывающий особенности распространения радиоволн на трассе;

ξ - коэффициент поляризационных потерь;

R_C – дистанция связи, км;

P_C – мощность передатчика средств связи (средняя), Вт;

G_C – КНД антенны передатчика средств связи, раз;

$G_{ПРС}$ – КНД антенны приемника средств связи, раз.

Оценка точности иерархически связанных показателей РЭЗ.

Как следует из анализа применяемых на практике показателей РЭЗ, они связаны друг с другом и имеют иерархический характер. При этом точность рассчитываемых информационных показателей определяется в первую очередь точностью измерений таких технических показателей, как SNR и BER.

В работе [5] предложен новый методический подход для повышения точности оценки технических и информационных показателей РЭЗ. Сущность его заключается в оценке моментных характеристик законов распределения мгновенных значений амплитуд сигналов и помех с помощью современной цифровой измерительной техники. Это существенно по-

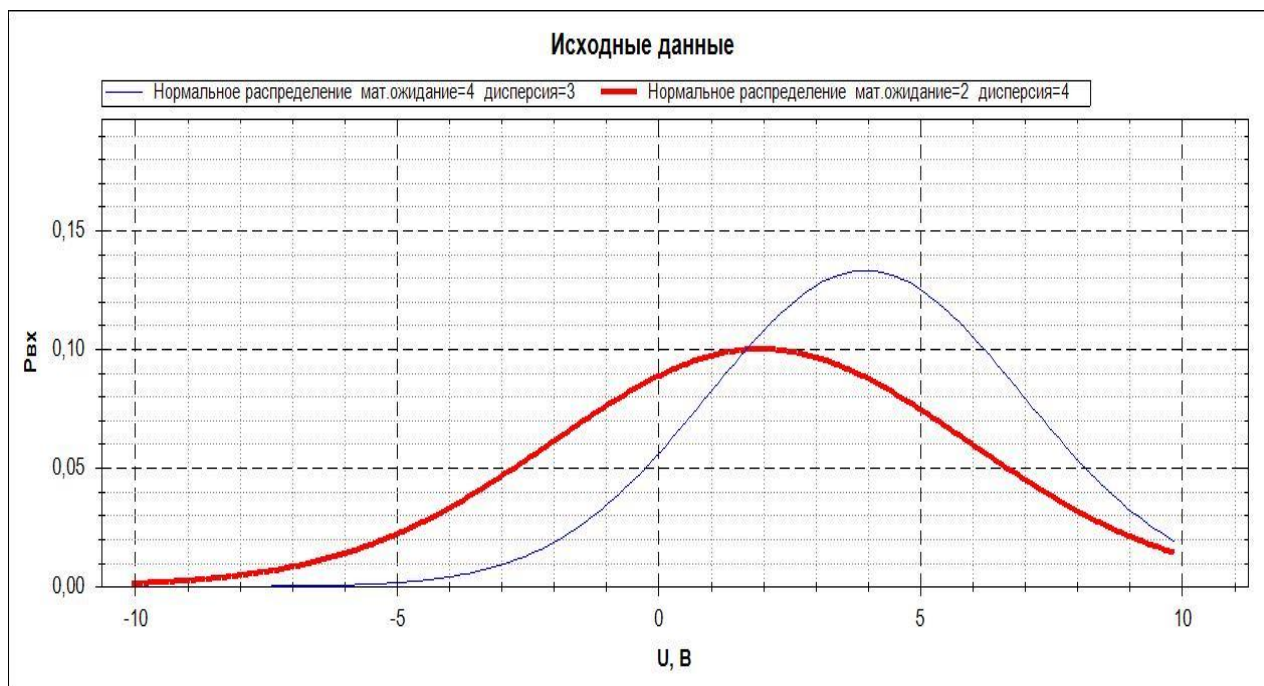
вышает качество современных методов оценки показателей РЭЗ в процессе испытаний цифровых радиоканалов на эффективность и помехоустойчивость. В определяемом экспериментально показателе BER отношение спектральных плотностей мощности сигнала и шума заменяется отношением вида

$$SNR = \frac{p_c(A)}{p_n(A)}, \quad (11)$$

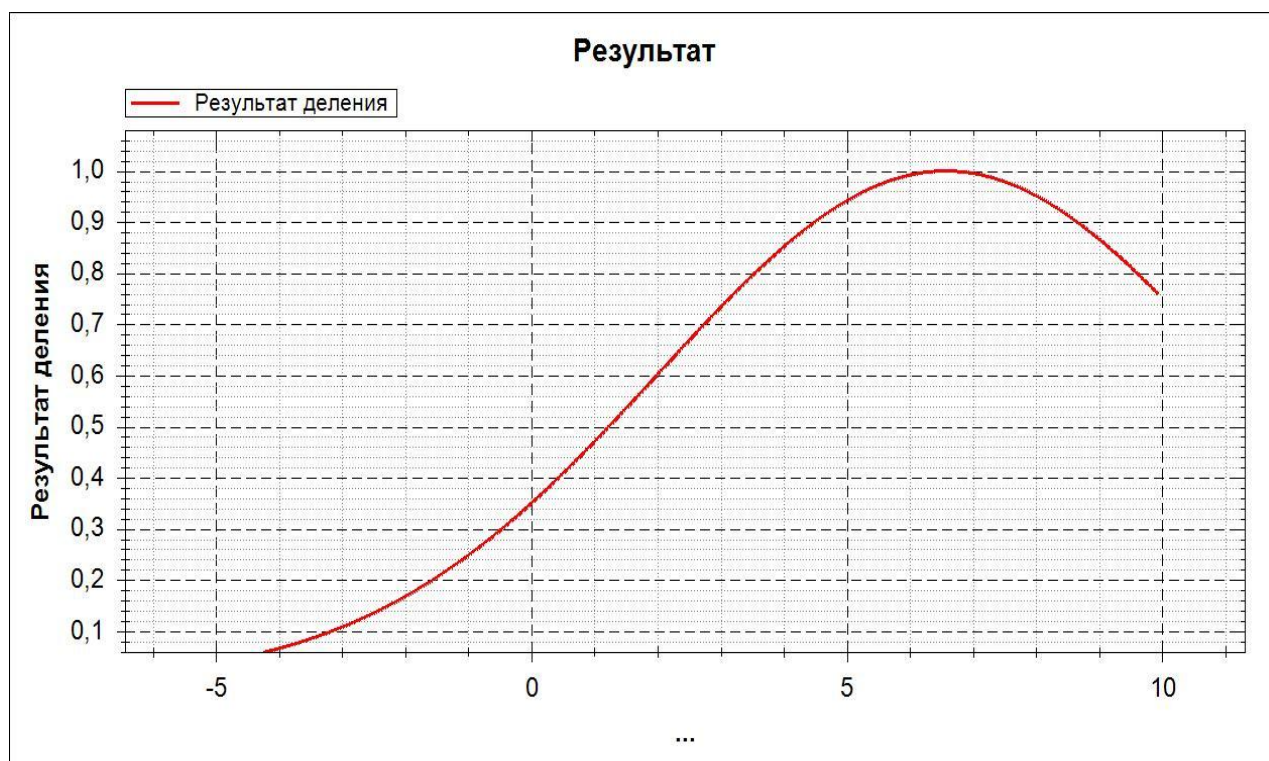
где $p_n(A)$ – плотность распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений амплитуд помехи в частотной полосе приема;

$p_c(A)$ – ПРВ мгновенных значений амплитуд цифрового сигнала (в общем случае также имеющего случайную компоненту) в той же частотной полосе приема.

Пример получения показателя SNR в виде отношения ПРВ мгновенных амплитуд сигнала и шума, распределенных по нормальному закону, но с различными параметрами распределения, приведен на рисунке.



а) ПРВ сигнала и шума



б) Результат, полученный по формуле (11)
Пример статистической оценки показателя РЭЗ

В работе [5] показано, что применение такого статистического методического подхода для оценки первичных показателей РЭЗ, в частности, SNR, позволяет повысить точность их оценки на 30 – 40%. При этом повышается достоверность результатов расчета информационных показателей РЭЗ.

Таким образом, анализ взаимосвязи технических и информационных показателей РЭЗ цифровых систем связи с кодовым разделением каналов показывает, что все их многообразие можно свести к базовым показателям (SNR, BER, PER) и производным от них (относительные информационные потери, дальность радиоэлектронного подавления), а качество их оценки можно повысить путем измерения плотностей распределения вероятностей мгновенных амплитуд сигналов, шумов и помех.

Литература

1. Бененсон, Л.Д. Рассеяние электромагнитных волн антеннами [Текст] / Л.Д. Бененсон, Я.Н. Фельд // Радиотехника и электроника. - 1988. - Т. 33. - № 2. - С. 225 – 245.
2. Воскресенский, Д.И. Эффективная поверхность рассеяния остронаправленных антенн и антенных решеток. Вопросы снижения эффективной поверхности рассеяния [Текст] / Д.И. Воскресенский, Л.И. Пономарев, А.В. Шаталов; под ред. П.Я. Уфимцева. - М.: ИРЭ РАН. - 1989. - С. 117 – 125.
3. Панычев, С.Н. Влияние характеристик рассеяния антенн на точность измерения параметров излучающих систем в ближней зоне [Текст] / С.Н. Панычев, Э.А. Соломин // Измерительная техника. - 1995. - № 5. - С. 56 – 58.
4. Гладышев, А.К. Влияние характеристик рассеяния антенны на показатели качества функционирования РЭС [Текст] / А.К. Гладышев, Е.Ф. Иванкин, С.Н. Панычев // Измерительная техника. - 1995. - № 2. - С. 48 – 50.
5. Еремин, В.Б. Характеристики рассеяния антенн и фазированных антенных решеток [Текст] / В.Б. Еремин, С.Н. Панычев // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. - 1997. - № 8. - С. 61 – 70.
6. Панычев, С.Н. Оценка влияния характеристик рассеяния антенны на энергетические параметры спутниковых систем связи [Текст] / С.Н. Панычев // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. - 2001. - № 3–4. - С. 74 – 79.
7. Панычев, С.Н. Косвенный метод определения структурной составляющей рассеяния антенны [Текст] / С.Н. Панычев, Э.А. Соломин // Радиопромышленность. - М.: НИИЭИР. - 1993. - С. 60 – 62.
8. Панычев, С.Н. Оценка влияния характеристик рассеяния измерительных антенн на точность измерения плотности потока энергии электромагнитного поля [Текст] / С.Н. Панычев, П.М. Мусабеков // Метрология. - 1998. - Т. 6. - С. 36 – 41.
9. Панычев, С.Н. Методика расчета энергетических потерь в радиоприемах, обусловленных рассеянием радиоволн на антеннах СВЧ [Текст] / С.Н. Панычев // Антенны. - 2001. - № 5(51). - С. 68 – 70.
10. Гладышев, А.К. Экспериментально-расчетная модель оценки характеристик рассеяния апертурных антенн [Текст] / А.К. Гладышев, С.Н. Панычев, Е.Ф. Иванкин // Метрология. - 1993. - № 11. - С. 24 – 28.
11. Гладышев, А.К. Оценка возможности применения измерительных антенн в качестве рабочих мер ЭПР [Текст] / А.К. Гладышев, С.Н. Панычев, Е.Ф. Иванкин // Измерительная техника. - 1993. - № 2. - С. 57 – 59.
12. Ибрагимов, Н.Г. Методика и результаты эксперимента по исследованию характеристик отражения рупорной антенны в широком диапазоне частот [Текст] / Н.Г. Ибрагимов, С.Н. Панычев, В.А. Савинов. // Антенные

измерения: сб. науч. трудов. Ереван: ВНИИРИ, 1990. - С. 191 – 192.

13. Кузнецов, А.А. Характеристики рассеяния линейных вибраторных решеток Ван-Атта [Текст] / А.А. Кузнецов // Журнал радиоэлектроники. - 2014. - № 5. - С. 37 – 43.

14. Формализованный подход к генерации рациональных вариантов развития системы испытаний техники радиоэлектронной борьбы [Текст] / С.Н. Панычев, Д.М. Бывших, С.В. Суровцев, Н.А. Самоцвет // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 3.1. - С. 71-75.

15. Волков, А. В. Синтез схемы дальномаршрутизатора на основе процедур пересечения и объединения с обработкой сигнала во временной области [Текст] / А.В. Волков, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 4. - С. 12-14

16. Оптимальный прием и обработка радиосигналов в нелинейном канале ВЧ-облучения для дистанционного снятия акустической информации [Текст] / В.Б. Авдеев, С.Н. Панычев, Н.Г. Денисенко, Н.А. Самоцвет, М.С. Сквипин // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 5. - С. 94-98

17. Расчетно-инструментальный метод анализа прохождения случайного процесса через нелинейную цепь [Текст] / С.Н. Панычев, М.Ф. Пашук, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, А.Е. Ломовских // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 5. - С. 109-113.

18. Экспериментально-расчетный метод определения двухсигнальной избирательности цифровых радиоприемных устройств [Текст] / В.М. Питолин, С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, С.А. Акулинин // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 6.3. - С. 45-48.

18. Питолин, В.М. Анализ методов формирования сигналов и помех с заданными законами распределения параметров [Текст] / В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, А.В. Волков // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - №.5-1. - С. 34-36.

20. Панычев, С.Н. Алгоритм формирования имитационных помех с заданными спектральными и информационными свойствами [Текст] / С.Н. Панычев, С.В. Суровцев, С.В. Канавин // Радиолокация, навигация, связь (RLNC- 2013); труды XIX Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2013. - Т. 3. - С. 2012-2017.

21. Панычев, С.Н. Когнитивный алгоритм корреляционно-фильтровой обработки сложных сигналов на фоне гауссовых шумов [Текст] / С.Н. Панычев, С.В. Суровцев, Н.А. Самоцвет / Радиолокация, навигация, связь (RLNC-2014); труды XX Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2014. - Воронеж. - Т. 4. - С. 2000-2008.

22. Экспериментально-расчетный метод определения двухсигнальной избирательности цифровых радиоприемных устройств [Текст] / С.Н. Панычев, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, С.В. Суровцев // Интеллектуальные информационные системы: материалы ежегодной Всерос. конф. - Воронеж: ВГТУ, 2014. - С. 4-8.

23. Панычев, С.Н. Методы формирования и обработки радиопомех с учетом их статистических свойств на основе технологий векторной генерации и анализа радиосигналов [Текст] / С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, Е.А. Сытник // Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО: материалы IV науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов. - М.: ГСКБ «Алмаз-Антей», - 2013. - С. 300-306.

24. Авдеев, В.Б. Особенности современных методов моделирования приема и обработки случайных радиосигналов на фоне шумов и помех [Текст] / В.Б. Авдеев, С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронежский институт ФСИН России, 2013. - № 4. - С. 90-97.

25. Панычев, С.Н. Моделирование приема и обработки случайных радиосигналов и помех [Текст] / С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, М.С. Сквипин // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: материалы XII Всерос. науч.-техн. конф. - Воронеж: ВГТУ. - 2013. - С. 18-19.

Воронежский государственный технический университет

Центр системных исследований и разработок филиал ОАО “Научно-технический центр радиоэлектронной борьбы”, г. Воронеж

INDICATORS ASSESSMENT OF RADIO-ELECTRONIC PROTECTION OF COMMUNICATION SYSTEMS WITH CODE DIVISION OF CHANNELS

N.A. Samotcvet

The description of interrelation of the technical and information indicators applied to a quantitative assessment of radio-electronic protection of communication systems with code division of channels is provided. The assessment of accuracy of basic data for calculation of indicators taking into account specifics of the principles of creation of digital communication systems with code division is given

Key words: Indicators of radio-electronic protection, communication system, code division of radio channels, density of probabilities distribution

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСКИРУЮЩИХ И ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е.Н. Глущенко, С.Н. Панычев, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет

Приводятся результаты обоснования универсального показателя, пригодного для применения в моделях оценки эффективности маскирующих шумовых и имитационных помех, применяемых для защиты речевой информации. Предложена практически реализуемая инструментально-расчетным способом методика количественной оценки показателя

Ключевые слова: защита речевой информации, показатель, эффективность, помеха

Одним из основных способов активной защиты речевой информации в категорируемых помещениях от утечки по акустическому каналу является применение маскирующих шумовых помех [1]. Для оценки качества таких помех используют как энергетические, так и вероятностные энтропийные показатели. К наиболее употребляемым на практике энергетическим показателям качества шумовых помех относятся: спектральная плотность мощности шума, коэффициент подавления, защитное отношение. В качестве энтропийных показателей эффективности шумовых маскирующих радиопомех применяют следующие показатели:

- энтропия плотности распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений амплитуд помех (числовая характеристика, которая характеризует дезинформационное действие шума при приеме сигнала в шумах);
- энтропийная мощность реального шума;
- энтропийный коэффициент качества шума (ЭККШ) (нормируемая характеристика серийно выпускаемых генераторов маскирующих шумов).

Маскирующие шумовые помехи являются универсальными для маскировки акустических сигналов во всем возможном частотном диапазоне их существования. Обычно они реализуются на практике шумовыми генераторами – постановщиками заградительных по частоте помех. Степень близости генерируемых шумов к идеальному гауссову шуму оценивается показателем ЭККШ. Недостатком этого вида помех является их невысокая энергетическая эффективность.¹

Вместе с тем, теория и практика защиты акустической информации показывает, что наиболее эффективной для маскирования речевой информации помехой является не гауссов шум, а речеподобная помеха: шум с огибающей амплитудного спектра, подобной речевому сигналу. Объясняется это не только большей спектральной плотностью мощности помехи, но и близостью статистических

свойств акустических маскируемых сигналов и имитационной речеподобной помехи. Теоретическое обоснование такого рода помех приводится в ряде работ В. Железняк и А. Хорева (укажем одну совместную их работу [2]). Оценка качества имитационных прицельных по частоте маскирующих помех имеет свою специфику, которую необходимо учитывать при практическом применении показателей качества защиты акустической информации. Важно учитывать, что закон распределения мгновенных значений амплитуд помехи имеет жесткую функциональную связь с ее энергетическим спектром.

Современная теория оценки эффективности имитационных радиопомех [3] базируется на моделях оценки относительных информационных потерь за счет влияния помех на цифровые приемные устройства. При этом в основу этих моделей положены известные энергетические показатели (коэффициент подавления, защитное отношение) с учетом влияния видов и параметров законов распределения мгновенных значений амплитуд сигналов и помех на эффективность процесса маскирования сигналов. Таким образом, в упомянутой работе впервые предложен показатель, объединяющий как энергетические, так и вероятностно-информационные свойства шумов и помех.

Целью настоящей статьи является обоснование универсального показателя, пригодного для оценки энергетической и информационной эффективности маскирующих и имитационных помех, применяемых для защиты акустической информации.

Универсальный показатель для оценки эффективности маскирующих и имитационных помех должен удовлетворять следующим требованиям:

- простота, наглядность, возможность экспериментальной оценки по простой инженерной методике;
- инвариантность к видам и параметрам помех (пригодность для оценки качества маскирующих помех любого вида);
- возможность количественного учета вклада энергетических и информационно-статистических свойств помех в общий показатель эффективности маскирующих радиопомех;
- показатель должен быть связан с традиционными применяемыми энергетическими и энтропийны-

Глущенко Евгений Николаевич – ОАО «НТЦ РЭБ», ведущий инженер, тел. 8-905-654-02-78

Панычев Сергей Николаевич – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, тел. 8-915-583-90-02

Питолин Владимир Михайлович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, тел. 8-908-141-66-95

Самоцвет Николай Андреевич – ВГТУ, аспирант, тел. 8-951-871-87-04

ми показателями качества маскирующих шумов и помех.

Указанным требованиям удовлетворяет следующий показатель (назовем его энтропийным коэффициентом подавления (ЭКП)). Введем его в следующем виде:

$$K_{\text{ПЭ}}(A) = \frac{p_{\text{П}}(A)}{p_{\text{С}}(A)}, \quad (1)$$

где $p_{\text{П}}(A)$ - плотность распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений амплитуд помехи (шума) в полосе приема;

$p_{\text{С}}(A)$ - ПРВ мгновенных значений амплитуд маскируемого сигнала.

Предложенный показатель (1) учитывает одновременно как энергетические, так и вероятностные свойства помех и маскируемого сигнала (который в общем случае также может иметь вероятностные свойства). При этом отношение моментных характеристик – математических ожиданий ПРВ $p_{\text{П}}(A)$ и $p_{\text{С}}(A)$ в (1) есть энергетическое отношение помеха-сигнал по амплитуде или численное значение коэффициента подавления. Отношение дисперсий законов распределений $p_{\text{П}}(A)$ и $p_{\text{С}}(A)$ соответствует энергетическому отношению помеха-сигнал по мощности.

Статистическая мера различия форм законов распределения ПРВ $p_{\text{П}}(A)$ и $p_{\text{С}}(A)$ в (1) характеризует вероятностную эффективность маскирующих шумов и помех. Если формы законов распределений маскируемого сигнала и имитационной помехи близки, то такая помеха является эффективной. С ПРВ мгновенных значений амплитуд помех и сигналов можно оперировать как с математическими функциями. В результате деления функции $p_{\text{П}}(A)$ на функцию $p_{\text{С}}(A)$ получается функция ПРВ мгновенных значений амплитуд $K_{\text{ПЭ}}(A)$, однозначно характеризующая результирующую энергетическую и информационно-вероятностную эффективность маскирующих или имитационных помех.

На основе общего показателя качества маскирования речевых сигналов (1) можно предложить и другие частные показатели, которые традиционно применяются в моделях оценки качества акустической информации. Так, например, вычисление энтропии ПРВ позволяет заменить отношение функций ПРВ на отношение числовых характеристик (энтропии $p_{\text{П}}(A)$ и $p_{\text{С}}(A)$). Напомним, что энтропия ПРВ – это численная характеристика, показывающая отличие конкретной формы ПРВ мгновенных значений сигналов и помех от формы стандартного гауссова распределения. В этом случае функция $K_{\text{ПЭ}}(A)$ заменяется точечной оценкой, а именно числом, соответствующим отношению энтропий ПРВ.

Из анализа (1) следует, что энергетические и информационно-вероятностные характеристики в предложенном показателе тесно связаны между собой. Так, например, форма закона распределения

помехи или маскирующего шума влияет на энергетическое отношение помеха-сигнал (энергетический коэффициент подавления). В свою очередь, увеличение математического ожидания или дисперсии мгновенных амплитуд помехи может приводить к изменению формы ПРВ $K_{\text{ПЭ}}(A)$. Это обстоятельство необходимо учитывать при обосновании и выборе оптимальных в энергетическом и (или) информационно-вероятностном смысле маскирующей помехи. При этом изменение формы ПРВ мгновенных амплитуд помехи соответствующим образом позволяет снизить требования к мощности помехи, достаточной для маскирования сигнала с тем же качеством. Существующие показатели для оценки качества защиты речевой информации маскирующими помехами не позволяют в полной мере учитывать взаимосвязь энергетических и информационно-вероятностных характеристик сигналов и маскирующих помех.

На основании показателя (1) может быть сформулирован энтропийный критерий качества маскирующих шумов и помех в следующем виде:

$$K_{\text{отн}}(A) = \frac{K_{\text{ПЭН}}(A)}{K_{\text{Р}}(A)}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ПЭН}}(A)$ - ЭКП (1) при воздействии на типовой приемник акустического сигнала стандартного белого гауссова шума;

$K_{\text{Р}}(A)$ - ЭКП при воздействии на приемник реального маскирующего шума либо имитационной помехи.

Из (2) следует ясный физический смысл энтропийного коэффициента качества шума: это степень ухудшения информационно-энергетического показателя (ЭКП) при применении вместо стандартного гауссова шума реальной маскирующей помехи. Замена функционалов в (2) на точечные оценки позволяет нормировать этот критерий. Он изменяется от 0 до 1. Значению 1 при этом соответствует гауссов шум.

Таким образом, учет законов распределений амплитуд сигналов и помех позволит более адекватно оценивать эффективность технических мероприятий по защите акустической информации.

Показатель (1) и критерий (2) связывают энергетические характеристики маскирующих шумов и помех (отношение помеха-сигнал) с вероятностными характеристиками помех и маскируемых сигналов (ПРВ мгновенных значений амплитуд или законы распределения амплитуд сигналов и помех). Предложим практически реализуемую инженерную методику их количественной оценки с помощью современной цифровой измерительной техники.

Технология преобразования стационарного энергетического спектра маскирующего шума (а равно помехи или сигнала) в ПРВ (закон) распределения мгновенных значений амплитуд включает три этапа:

- на первом этапе энергетический спектр помехи посредством математической операции обратно-

го преобразования Фурье преобразуют во временную последовательность изменения амплитуд шума;

- на втором этапе сигнальной обработки определяют диапазон разброса амплитуд шума от минимального до максимального значения и разбивают этот диапазон на равномерные интервалы. После этого производят подсчет относительных частот попадания мгновенных отсчетов амплитуд в каждый интервал;

- после построения и сглаживания гистограммы распределения мгновенных значений амплитуд шума в графическом либо аналитическом виде воспроизводится ПРВ или закон распределения амплитуд шума.

Математическое ожидание закона распределения, как уже отмечалось, есть усредненная амплитуда шума, а форма ПРВ позволяет оценить близость маскирующего шума по статистическим свойствам к идеальному белому шуму (имеющему наилучшие маскирующие свойства) либо к закону распределения амплитуд маскируемого речевого сигнала.

При обработке шумов, помех и сигналов во временной области первый этап указанной технологической процедуры не выполняется. С помощью цифрового приемного устройства оценка качества помехи производится следующим образом [4].

Реализации шума или помехи в виде электрического сигнала шума или помехи записывают в оперативной памяти измерительного приемника (например, векторного анализатора спектра) в течение заданного интервала времени, а затем подвергают операции дискретизации во времени с требуемым шагом дискретизации. На следующем этапе обработки записанного массива информации для всех дискретных моментов времени t_j ($j = \overline{1, M}$)

измеряют уровни напряжений электрического сигнала помехи или шума, выбирают среди всех измеренных значений максимальный $u_{\max}$ и минимальный $u_{\min}$ уровни напряжения помехи (шума) и разбивают весь диапазон измеренных значений указанных напряжений на N уровней. Напряжение u_i каждого i -го уровня вычисляют по формуле

$$u_i = (i - N/2) \cdot \Delta u, \quad (3)$$

где $i = \overline{1, N}$ – номер уровня напряжения исследуемого сигнала шума или помехи;

N – количество уровней напряжения исследуемого электрического сигнала;

$$\Delta u = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{N}. \quad (4)$$

После выполнения математических операций (3) в течение интервала времени t вычисляют количество N_i пересечений электрическим сигналом каждого i -го уровня и рассчитывают общее количество пересечений S – *тылм* электрическим сигналом всех уровней по формуле

$$S = \sum_{i=1}^N N_i. \quad (5)$$

На следующем этапе алгоритмической статистической обработки электрического сигнала помехи или шума рассчитывают вероятности p_i пересечения каждого i -го уровня по формуле

$$p_i = \frac{N_i}{S}. \quad (6)$$

По результатам измерений вероятностей (6) строят гистограмму закона распределений мгновенных значений исследуемого сигнального процесса $p_i(u_i), (i = \overline{1, N})$.

После построения гистограммы вычисляют средневзвешенное значение (оценку математического ожидания) u_m обрабатываемого массива мгновенных значений электрического сигнала шума или помехи на интервале $[u_{\min}, u_{\max}]$ по формуле

$$u_m = \sum_{i=1}^N u_i p_i, \quad (7)$$

после чего рассчитывают среднеквадратическое отклонение напряжения электрического сигнала шума (помехи) по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (u_i - u_m)^2 p_i}. \quad (8)$$

На заключительных этапах алгоритмизированной процедуры определения энтропийно-информационного показателя потерь информации за счет влияния помех и шумов вычисляют следующие параметры:

- энтропию $H_N(u)$ плотности распределения вероятностей мгновенных значений напряжения электрического сигнала помехи или шума по формуле

$$H_n(u) = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i, \quad (9)$$

- энтропийный коэффициент качества шума $\eta(u)$ с любым законом распределения мгновенных значений напряжения

$$\eta(u) = \frac{\exp\{H_n(u)\}}{\sqrt{2\pi e \sigma^2}}. \quad (10)$$

Измерительные процедуры (3) – (10) повторяют при подаче вместо шума или помехи полезного сигнала на вход приемника.

Таким образом, измерительная процедура определения информационно-энтропийных показателей качества помех выполняется последовательно в два этапа. На первом этапе на вход исследуемого цифрового приемника подают помеху заданного вида, а на втором этапе – типовой (тестовый) полезный информационный маскируемый сигнал.

Завершается практическая реализация определения оцениваемого показателя или критерия в соответствии с предложенной технологией нахождения

нием частного от деления функций в соответствии с формулами (1) или (2).

Предложен универсальный показатель эффективности маскирующих и имитационных помех для защиты речевой информации, основанный на оценке моментных характеристик законов распределения мгновенных значений амплитуд сигналов и помех. Применение инструментально-расчетной методики оценки предложенных показателей с помощью современной цифровой измерительной техники существенно повышает качества современных моделей оценки качества маскирующих шумов и помех, применяемых для защиты акустической информации.

Литература

1. Бененсон, Л.Д. Рассеяние электромагнитных волн антеннами [Текст] / Л.Д. Бененсон, Я.Н. Фельд // Радиотехника и электроника. - 1988. - Т. 33. - №2. - С. 225 – 245.
2. Воскресенский, Д.И. Эффективная поверхность рассеяния остронаправленных антенн и антенных решеток [Текст] / Д.И. Воскресенский, Л.И. Пономарев, А.В. Шаталов / Вопросы снижения эффективной поверхности рассеяния, под ред. П.Я. Уфимцева. - М.: ИРЭ РАН. - 1989. - С. 117 – 125.
3. Панычев, С.Н. Влияние характеристик рассеяния антенн на точность измерения параметров излучающих систем в ближней зоне [Текст] / С.Н. Панычев, Э.А. Соломин // Измерительная техника. - 1995. - №5. - С. 56 – 58.
4. Гладышев, А.К. Влияние характеристик рассеяния антенны на показатели качества функционирования РЭС [Текст] / А.К. Гладышев, Е.Ф. Иванкин, С.Н. Панычев // Измерительная техника. - 1995. - №2. - С. 48 – 50.
5. Еремин, В.Б. Характеристики рассеяния антенн и фазированных антенных решеток. [Текст] / В.Б. Еремин, С.Н. Панычев // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. - 1997. - №8. - С. 61 – 70.
6. Панычев, С.Н. Оценка влияния характеристик рассеяния антенны на энергетические параметры спутниковых систем связи. [Текст] / С.Н. Панычев // Известия вузов. Радиоэлектроника. - 2001. - №3–4. - С. 74 – 79.
7. Панычев, С.Н. Косвенный метод определения структурной составляющей рассеяния антенны. [Текст] / С.Н. Панычев, Э.А. Соломин // В сб.: Радиопромышленность. - М.: НИИЭИР. - 1993. - С. 60 – 62.
8. Панычев, С.Н. Оценка влияния характеристик рассеяния измерительных антенн на точность измерения плотности потока энергии электромагнитного поля. [Текст] / С.Н. Панычев, П.М. Мусабеков // Метрология. - 1998. - Т.6. - С. 36 – 41.
9. Панычев, С.Н. Методика расчета энергетических потерь в радиолиниях, обусловленных рассеянием радиоволн на антеннах СВЧ. [Текст] / С.Н. Панычев // Антенны. - №. 5(51). - 2001. - С. 68 – 70.
10. Гладышев, А.К. Экспериментально-расчетная модель оценки характеристик рассеяния апертурных антенн. [Текст] / А.К. Гладышев, С.Н. Панычев, Е.Ф. Иванкин // Метрология. - 1993. - №11. - С. 24 – 28.
11. Гладышев, А.К. Оценка возможности применения измерительных антенн в качестве рабочих мер ЭПР. [Текст] / А.К. Гладышев, С.Н. Панычев, Е.Ф. Иванкин // Измерительная техника. - 1993. - №2. - С. 57 – 59.
12. Ибрагимов, Н.Г., Панычев С.Н., Савинов В.А. Методика и результаты эксперимента по исследованию характеристик отражения рупорной антенны в широком диапазоне частот. [Текст] / Н.Г. Ибрагимов, С.Н. Панычев, В.А. Савинов. - В кн.: Антенные измерения. ВНИИРИ. Ереван. - 1990. - С. 191 – 192.
13. Кузнецов, А.А. Характеристики рассеяния линейных вибраторных решеток Ван-Атта. [Текст] / А.А. Кузнецов // Журнал радиоэлектроники. - 2014. - №5. - С. 37 – 43.
14. Формализованный подход к генерации радиональных вариантов развития системы испытаний техники радиоэлектронной борьбы. [Текст] / С.Н. Панычев, Д.М. Бывших, С.В. Суровцев, Н.А. Самоцвет // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 3.1. - С. 71-75.
15. Волков, А. В. Синтез схемы дальномерапеленгатора на основе процедур пересечения и объединения с обработкой сигнала во временной области [Текст] / А.В. Волков, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - № 4. - С. 12-14
16. Оптимальный прием и обработка радиосигналов в нелинейном канале ВЧ-облучения для дистанционного снятия акустической информации [Текст] / В.Б. Авдеев, С.Н. Панычев, Н.Г. Денисенко, Н.А. Самоцвет, М.С. Сковпин // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 5. - С. 94-98
17. Расчетно-инструментальный метод анализа прохождения случайного процесса через нелинейную цепь [Текст] / С.Н. Панычев, М.Ф. Пашук, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, А.Е. Ломовских // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 5. - С. 109-113.
18. Экспериментально-расчетный метод определения двухсигнальной избирательности цифровых радиоприемных устройств [Текст] / В.М. Питолин, С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, С.А. Акулинин // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - №6.3. - С. 45-48.
19. Питолин, В.М. Анализ методов формирования сигналов и помех с заданными законами распределения параметров [Текст] / В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, А.В. Волков // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т.9. - №5.1. - С. 34-36.
20. Панычев, С.Н. Алгоритм формирования имитационных помех с заданными спектральными и информационными свойствами [Текст] / С.Н. Панычев, С.В. Суровцев, С.В. Канавин // Труды XIX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» RLNC- 2013. - Воронеж. - Т.3. - С. 2012-2017.
21. Суровцев, С.В. Когнитивный алгоритм корреляционно-фильтровой обработки сложных сигналов на фоне гауссовых шумов [Текст] / С.Н. Панычев, С.В. Суровцев, Н.А. Самоцвет / Труды XX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» RLNC- 2014. - Воронеж. - Т.4. - С. 2000-2008.
22. Самоцвет, Н.А. Экспериментально-расчетный метод определения двухсигнальной избирательности цифровых радиоприемных устройств. [Текст] / С.Н. Панычев, В.М. Питолин, Н.А. Самоцвет, С.В. Суровцев // Материалы ежегодной Всероссийской конференции «Интеллектуальные информационные системы». - Воронеж: ВГТУ кафедра «Системы автоматизированного проектирования и информационные системы». - 2014. - С. 4-8
23. Самоцвет, Н.А. Методы формирования и обработки радиопомех с учетом их статистических свойств на основе технологий векторной генерации и анализа радиосигналов [Текст] / С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, Е.А. Сытник // Материалы IV НТК молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО». - М.: ГСКБ «Алмаз-Антей». - 2013. - С. 300-306.

24. Авдеев, В.Б. Особенности современных методов моделирования приема и обработки случайных радиосигналов на фоне шумов и помех. [Текст] / Авдеев В.Б., С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет // Доклад на конференцию 04.10.2013 Воронежский институт ФСИН. Воронежского института ФСИН России. - 2013. - №4. - С. 90-97.

25. Самоцвет, Н.А. Моделирование приёма и обработки случайных радиосигналов и помех [Текст] / С.Н. Панычев, Н.А. Самоцвет, М.С. Сковпин // Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции «Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве». - Воронеж: ВГТУ. - 2013. - С. 18-19.

26. Герасименко, В.Г. Методы защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам. [Текст] / В.Г. Герасименко, Ю.Н. Лаврухин, В.И. Тупота // Инженерный журнал «Наука и инновации» Выпуск №11(23). - Москва: РЦИБ «Факел». - 2013. - С. 258-262.

27. Железняк, В.К. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации.

[Текст] / В.К. Железняк, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // Спецтехника. - 2000. - № 4. С. 39-45.

28. Владимиров, В.И. Избранные вопросы радиоэлектронного подавления цифровых сигналов систем радиосвязи. [Текст] / В.И. Владимиров, И.В. Владимиров, В.В. Наметкин // Оценка удельной пропускной способности цифрового канала передачи информации при наличии помех. - Воронеж: ВАИУ. - 2010. - С. 34-44.

29. Пат. 2350023 Российская Федерация, МПК H04B17/00. Способ оценки качества маскирующего акустического (вибро-акустического шума) [Текст] / Тупота В.И., Герасименко В.Г., Бортников А.Н., Бурмин В.А., Самсонов А.А., Петигин А.Ф., Железняк В.К.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю. - № 2007127289/09; заявл. 16.07.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл. № 8. - 4 с.

Воронежский государственный технический университет

Центр системных исследований и разработок филиал ОАО «Научно-технический центр радиоэлектронной борьбы»

UNIVERSAL PERFORMANCE INDICATORS DISGUISES AND SIMULATION INTERFERENCE PROTECTION VOICE INFORMATION

E.N. Glushchenko, S.N. Panychev, V.M. Pitolin, N.A. Samotcvet

Justification of universal indicator suitable for evaluating the energy and information efficiency of simulation and masking noise used to protect the acoustic information. The indicator combines both energy and probabilistic-information properties of noise and interference, and is based on an assessment of the torque characteristics of the distribution laws of amplitudes of signals and noise.

Key words: protecting speech information, rate, efficiency, interference

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

В. И. Рышков, А. В. Смольянинов, А. П. Чабала

Приводится один из возможных неэлектромашинных способов преобразования постоянного напряжения в трёхфазную сеть, обеспечивающую возможность плавного регулирования напряжения и частоты для эффективного управления электроприводами систем пожарной защиты

Ключевые слова: электропривод, управление, скорость вращения, тиристорный преобразователь

При отключении питающего напряжения промышленной сети, что обычно и происходит при возникновении большинства различных чрезвычайных ситуаций, обесточиваются и системы пожарной защиты (например, системы вентиляции, подпора воздуха, дымоудаления, и т.д.), которые могли бы продолжать работу, питаясь от автономных источников электроэнергии, например, от аккумуляторных батарей, что обеспечило бы бесперебойное электропитание систем пожарной защиты.

Преобразование постоянного напряжения, источником которого может быть, например, автономная аккумуляторная батарея и др., в трёхфазную сеть промышленной либо повышенной частоты в настоящее время обычно осуществляется электромашинным способом (электродвигатель постоянного тока, питающийся от источника постоянного напряжения, вращает трёхфазный синхронный генератор, генерирующий напряжение промышленной либо повышенной частоты).

Основными недостатками электромашинного способа преобразования являются высокая стоимость преобразователя, низкий КПД установки и др. Кроме того, в различных автономных системах пожарной защиты часто требуется управлять и скоростью вращения электродвигателя.

При этом реализовать наиболее эффективное частотное управление скоростью вращения трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, питающегося от этой сети будет невозможно [1, 2, 4], что препятствует его широкому применению. А именно этот тип электродвигателя является наиболее простым по конструкции, надёжным в эксплуатации и имеет наименьшую массу, габариты и стоимость, а также высокий КПД по сравнению с другими типами электродвигателей той же мощности [1, 4].

Осуществить преобразование постоянного напряжения в трёхфазную сеть промышленной либо

повышенной частоты и обеспечить возможность частотного регулирования скорости вращения трёхфазного асинхронного двигателя можно с помощью тиристорных преобразователей, которые, в отличие от электромашинных, лишены указанных выше недостатков.

Следует отметить, что при частотном управлении скоростью вращения трёхфазного асинхронного двигателя, изменяя частоту необходимо одновременно изменять и напряжение, чтобы сохранить постоянным магнитный поток [1, 3], т.е. преобразователь должен содержать два канала управления: по частоте и по напряжению (рис. 1).

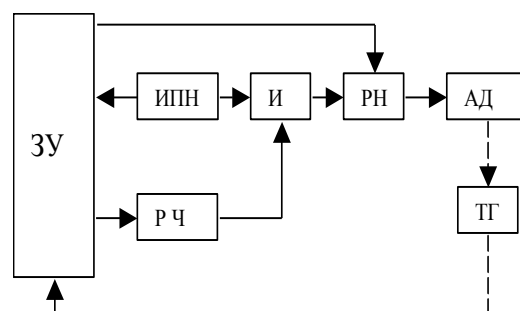


Рис. 1. Структурная схема тиристорного преобразователя

Ориентировочный закон регулирования напряжения при частотном управлении был выведен академиком М.П. Костенко, который исходил из необходимости сохранения во всём диапазоне скоростей неизменной перегрузочной способности двигателя [1, 2], т.е. при любом законе изменения статического момента в зависимости от скорости должно сохраняться условие

$$\frac{M_{\max}}{M_c} = \text{const}.$$

Пренебрегая активным сопротивлением цепи статора и, зная, что индуктивное сопротивление короткого замыкания линейно зависит от частоты, выражение для $M_{\max}$ может быть записано в виде

$$M_{\max} = C \frac{U^2}{f^2},$$

Рышков Валерий Иванович - Воронежский ГАСУ, канд. техн. наук, доцент, тел.(473) 230-41-35, e-mail: 794510@mail.ru.

Смольянинов Андрей Викторович - Воронежский ГАСУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 89081337398, e-mail: a.v.smolyaninov@yandex.ru.

Чабала Анатолий Петрович – ВУНЦ ВВС ВВА, канд. техн. наук, доцент, тел. 89056548400

где U и f - напряжение и частота подводимые к двигателю;

C – некоторая постоянная.

Для сохранения неизменной перегрузочной способности отношение максимальных моментов при любых скоростях должно быть равно отношению соответствующих статических моментов, т.е.

$$\frac{M'_c}{M''_c} = \frac{M'_{\max}}{M''_{\max}} = \left(\frac{U'}{f'}\right)^2 \left(\frac{f''}{U''}\right)^2 = \left(\frac{U'}{U''}\right)^2 \left(\frac{f''}{f'}\right)^2,$$

откуда следует

$$\frac{U''}{U'} = \frac{f''}{f'} \sqrt{\frac{M'_c}{M''_c}}, \quad (1)$$

где M'_c и M''_c - статические моменты при работе двигателя на скоростях, соответствующих частотам f' и f'' ; U' и U'' - напряжения подводимые к двигателю при тех же частотах.

Полученная формула показывает, что закон изменения напряжения при частотном управлении определяется характером изменения статического момента нагрузки в зависимости от скорости. При постоянном статическом моменте

$$\frac{U''}{U'} = \frac{f''}{f'},$$

т.е. получаем наиболее простой закон управления двигателем

$$\frac{U}{f} = const. \quad (2)$$

При линейном нарастании статического момента со скоростью закон регулирования напряжения имеет вид

$$\frac{U''}{U'} = \sqrt{\left(\frac{f''}{f'}\right)^3}, \quad (3)$$

при квадратичной зависимости (вентиляторная нагрузка)

$$\frac{U''}{U'} = \left(\frac{f''}{f'}\right)^2. \quad (4)$$

Структурная схема тиристорного преобразователя (рис. 1) включает в себя:

автономный источник постоянного напряжения (ИПН), например, аккумуляторная батарея, генератор постоянного тока и т.д.;

задающее устройство (ЗУ), позволяет выдавать регулирующее воздействия по напряжению и частоте;

регулятор напряжения (РН), позволяющий изменить величину выходного трёхфазного напряжения;

регулятор частоты (РЧ), позволяющий плавно изменять частоту выходного трёхфазного напряжения;

инвертор (И), позволяющий преобразовывать постоянное напряжение в трёхфазную сеть переменного тока с плавно регулируемыми в соответствии с выражениями (1)-(4) напряжением и частотой.

Регулятор частоты в соответствии с регулирующим воздействием, поступающим от задающего устройства выдаёт импульсы на управляющие электроды тиристоров VS1...VS6 инвертора, через которые запитаны от источника постоянного напряжения первичные обмотки W1, W2, W3 входящего в состав этого инвертора трёхфазного трансформатора Т (рис 2).

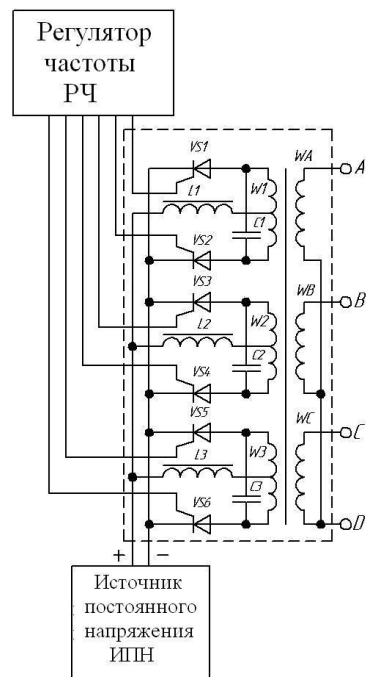


Рис. 2. Упрощённая схема инвертора

Причём эти импульсы регулятором частоты выдаются таким образом, что во вторичных обмотках WA, WB, WC трёхфазного трансформатора наводится трёхфазное переменное напряжение с установленной задающим устройством частотой. Регулятор напряжения (рис. 3), основой которого являются регулируемые дроссели LA, LB, LC, изменяет амплитуду выходного трёхфазного напряжения инвертора в соответствии с регулирующим воздействием задающего устройства, поступающим в цепь подмагничивания этих дросселей.

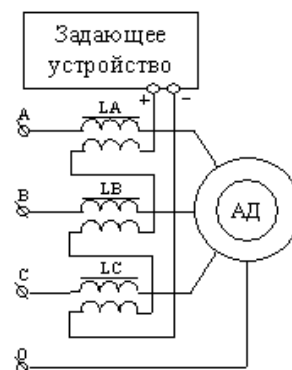


Рис. 3. Упрощённая схема регулятора напряжения

Задающее устройство выдаёт на регуляторы напряжения и частоты такие регулирующие воздействия, при которых поступающее на трёхфазный асинхронный двигатель трёхфазное напряжение и его частота изменяются в соответствии с требуемым законом (1)-(4) управления двигателем.

Следует отметить, что для использования данного устройства в электроприводах систем пожарной защиты с широким диапазоном регулирования скорости, особенно в области низких частот, необходимо будет учесть следующее:

1. Полученные законы (1) - (4) управления трёхфазным асинхронным двигателем являются приближёнными, т.к. было внесено допущение, что активное сопротивление цепи статора равно нулю, а это не справедливо для области низких частот, когда индуктивное сопротивление обмоток статора существенно уменьшается, а, следовательно, значительно увеличивается влияние их активного сопротивления. В этих условиях для поддержания магнитного потока неизменным придётся усложнить систему управления [1, 2].

2. Выходное трёхфазное напряжение приведенного тиристорного преобразователя будет иметь не чисто синусоидальную, а трапецеидальную форму, поэтому в случае необходимости (например, в прецизионных механизмах) нужно будет принимать дополнительные меры по устранению избыточных гармоник.

3. В настоящее время в связи с совершенствованием систем пожарной защиты непрерывно возрастают и требования к электроприводам различных машин и механизмов. Электроприводы с разомкнутой цепью управления во многих случаях уже не отвечают предъявляемым требованиям, т.к. не могут обеспечить необходимый диапазон регулирования скорости, жёсткость механических характеристик, стабильность заданного режима и т.д. Кроме того, для некоторых прецизионных механизмов необходимо поддержание на заданном уровне не только среднего уровня скорости, но и её мгновенных значений.

Поэтому для более точного поддержания значения скорости целесообразно замкнуть контур управления путём введения обратной связи от асинхронного двигателя АД через тахогенератор ТГ к задающему устройству (на рис. 1 показано пунктиром).

Кроме того, некоторые электроприводы с трёхфазным асинхронным двигателем принципиально не могут работать при разомкнутом контуре управления, например, приводы с регулированием скорости за счёт введения добавочных сопротивлений в цепь статора (реостатов, автотрансформаторов, магнитных усилителей (рис. 4) и др.), приводы с частотно-токовым управлением, в которых используется управление по частоте и току статора асинхронного двигателя, а не по частоте и напряжению и т.д. [1,3].

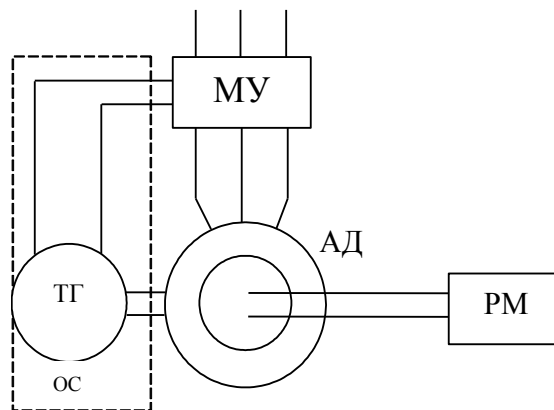


Рис. 4. Система магнитный усилитель - асинхронный двигатель с замкнутым контуром управления (МУ- магнитный усилитель; ТГ- тахогенератор; АД- асинхронный двигатель; РМ- рабочий механизм; ОС- обратная связь по скорости)

В приведенной на рис. 4 системе стабилизация скорости может осуществляться лишь посредством обратной связи по скорости.

В настоящее время всё более широкое применение получает и частотно-токовое управление [3]. В этом случае для стабилизации магнитного потока формируются соответствующие токи в обмотках статора. Причём в разомкнутом состоянии данная система практически работать не может, т.к. использование соответствующего функционального преобразователя ФП1, показанного пунктиром на рис. 5, связывающего заданную частоту переменного тока с его амплитудой, из-за сложности этой зависимости затруднено [2, 3].

К тому же механические характеристики асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением, приведенные на рис. 6 довольно мягкие.

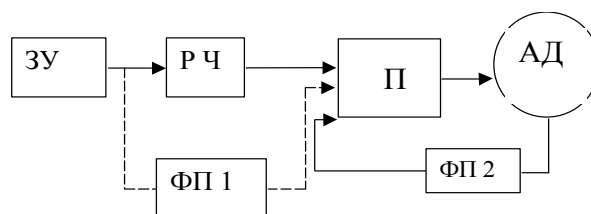


Рис. 5. Система частотно-токового управления асинхронным двигателем (ФП1, ФП2 – функциональные преобразователи; ЗУ – задающее устройство; РЧ – регулятор частоты; П – преобразователь, АД – асинхронный двигатель)

Как видно, момент на валу двигателя (М) практически не зависит от частоты переменного тока в обмотках статора и от скорости вращения ω . Поэтому необходимо регулировать токи в обмотках статора или непосредственно в функции нагрузки двигателя или частотой тока в роторе.

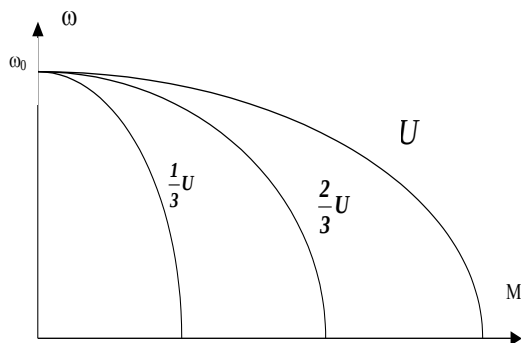


Рис. 6. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотно - токовом управлении

В этом случае для выработки соответствующего регулирующего воздействия необходим функциональный преобразователь ФП 2. Вместо частоты тока в роторе в расчётах часто используют абсолютное скольжение, выраженное отношением частоты f_2 к номинальной частоте статора

$$S_{абс} = \frac{f_2}{f_{ном}}.$$

С нашей точки зрения системы с частотно-токовым управлением асинхронным двигателем могут использоваться в широком диапазоне мощностей – от сервоприводов до установок большой мощности систем пожарной защиты.

Причем тиристорные преобразователи для большинства таких электроприводов должны выполняться реверсивными, т.е. содержать два преобразователя для двух направлений вращения, где второй преобразователь (рис. 5) может быть использован для обеспечения тормозных режимов.

Кроме того, следует отметить, что в большинстве электроприводов необходима не только стабилизация скорости вращения, но и мощности, развиваемой асинхронным двигателем, угла поворота, перемещения и т.д. [1]. Например, если рабочий механизм работает в условиях переменной нагрузки, в том числе и при случайном характере её изменения, то возникает задача

стабилизации мощности асинхронного двигателя с целью как наилучшего использования оборудования (на пределе возможности), так и его сохранности. Задача стабилизации развиваемой мощности особенно актуальна для автономных установок систем пожарной защиты, с первичными двигателями ограниченной мощности, т.к. большинство тепловых двигателей не допускают даже кратковременных перегрузок. Если же выходной величиной электропривода является угол поворота или перемещение, то привод должен либо эпизодически отрабатывать возникающее рассогласование, либо непрерывно следить за перемещениями задающего органа. Во всех этих случаях также целесообразно использовать замкнутую систему управления с обратной связью.

Таким образом, электроприводы с трёхфазными асинхронными двигателями, к которым предъявляются повышенные требования по точности и быстродействию, в настоящее время должны содержать замкнутую цепь управления. Предложенный тиристорный преобразователь способен преобразовать постоянное напряжение в трёхфазную сеть с плавно регулируемым напряжением и частотой для осуществления эффективного управления автономными электроприводами в системах пожарной защиты.

Литература

1. Вольдек, А.И. Электрические машины. [Текст] / А.И. Вольдек, В.В. Попов – СПб.: Питер, 2010. – 350 с.
2. Сабинин, Ю.А. Электромашинные устройства автоматики. [Текст] / Ю.А. Сабинин – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 408 с.
3. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода. [Текст] / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
4. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники. [Текст] / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 736 с.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж)

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY AUTONOMOUS ELEKTROPRIVODOV FIRE PROTECTION SYSTEMS

V.I. Ryshkov, A.V. Smoljaninov, A.P. Chabala

Shows one of the possible ways not -electric conversion of DC to three-phase network , capable of continuous adjustment of voltage and frequency for the effective control of electric fire protection systems

Key words: electric, control, rotation speed, thyristor converter

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МНОГООПОРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.Д. Волков, А. В. Смольянинов, В. И. Рышков, А. П. Чабала

Рассматриваются тяговый электропривод многоопорных транспортных средств, имеющих модульную конструкцию и предназначенных для перевозки крупногабаритных неделимых грузов. Приводится функциональная схема частотно-каскадного электропривода и выражения для расчета основных характеристик асинхронного электродвигателя при совместном управлении по цепям статора и ротора

Ключевые слова: транспортное средство, электропривод, регулирование, механическая характеристика

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций иногда возникает задача транспортировки к месту событий крупногабаритных грузов, среди которых существуют такие, доставка которых в собранном виде стандартными транспортными средствами не представляется возможной. При этом, если груз, подлежащий транспортировке, может быть разобран на составные части, то его перевозка возможна стандартными транспортными средствами, с последующей сборкой объекта на месте. Однако это не всегда допустимо или целесообразно. Поэтому перевозки такого типа осуществляются многоосными автомобилями, которые строятся в виде отдельных модулей.

Соединение отдельных модулей таких многоопорных транспортных средств (МТС) при их больших габаритах может быть выполнено либо встык, с образованием жесткой несущей платформы для транспортирования неделимых грузов, либо на расстоянии друг от друга.

Естественно, что при построении большегрузного МТС из отдельных модулей невозможно однозначно определить их положение в платформе до окончания ее формирования. Причем, применение механической трансмиссии вызывает значительные трудности, т.к. в этом случае практически невозможно осуществлять управление МТС как единым механическим транспортным средством из-за сложности синхронизации частот вращения тяговых колес при маневрировании. Поэтому на наш взгляд более целесообразно использовать мотор-колесо или мотор-стойку. Причем, подвод энергии к данным силовым агрегатам будет происходить с помощью гидростатической или электромеханической трансмиссии.

Учитывая специфику движения МТС установлено, что в классе асинхронных машин для тягового привода целесообразно использовать частотно-

каскадный электропривод (рис.1), обеспечивающий двухканальность регулирования частоты вращения, выгодно сочетая в себе преимущества частотного и каскадного способов регулирования /1/.

Для получения механических характеристик асинхронного двигателя при частотно-каскадном регулировании была использована система подвижных самоориентирующихся координат (gi) уравнения АДФ в которой, при частотно-каскадном управлении, представлены в виде (1).

$$\left. \begin{aligned} -U_1 \cos(\delta) &= r_1 i_{1g} + L_s \frac{di_{1g}}{dt} + L_m \frac{di_{2g}}{dt} - \\ &- \alpha \left(\omega_0 - \frac{d\delta}{dt} \right) L_s i_{1i} \\ -U_1 \sin(\delta) &= r_1 i_{1i} + L_s \frac{di_{1i}}{dt} + \alpha \left(\omega_0 - \frac{d\delta}{dt} \right) L_s i_{1g} + \\ &+ \alpha \left(\omega_0 - \frac{d\delta}{dt} \right) L_m i_{2g} \\ -U_2 - L_d \frac{di_{2g}}{dt} &= L_r \frac{di_{2g}}{dt} + L_m \frac{di_{1g}}{dt} - \\ &- \alpha \left(\omega_0 s - \frac{d\delta}{dt} \right) L_m i_{1i} + r_2 i_{2g} \\ 0 &= L_m \frac{di_{1i}}{dt} + \alpha \left(\omega_0 s - \frac{d\delta}{dt} \right) L_r i_{2g} + \\ &+ \alpha \left(\omega_0 s - \frac{d\delta}{dt} \right) L_m i_{1g} \\ M &= 3 p_n L_m i_{1i} i_{2g} / 2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В (1) обозначено: U_1 - напряжение на статоре; U_2 - напряжение вводимое в цепь ротора; i_{1g} , i_{1i} , i_{2g} – проекции векторов тока статора и ротора на оси gi ; p_n – число пар полюсов двигателя; ω_0 – синхронная скорость ротора при работе в номинальном режиме; M – электромагнитный момент двигателя; $L_s = L_m + L_1$, $L_r = L_m + L_2$ – полные эквивалентные индуктивности статора и ротора; $L_{1(2)}$ – индуктивность рассеяния статора (ротора); $L_m = 3M_{12}/2$ – индуктивность фазы двигателя; $M_{12}=M_{21}$ – максимальное значение взаимной индуктивности между обмотками статора и ротора; $r_{1(2)}$ – активное сопротивление фазы статора (ротора); $\alpha = f_1 / f_{1n}$ – относительная частота напряжения статора; f_1 , f_{1n} – текущая и номинальная частота напряжения статора; δ – угол между вектором, вращающимся в

Волков Вячеслав Дмитриевич – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: vdvolk@mail.ru.

Смольянинов Андрей Викторович - Воронежский ГАСУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 89081337398, e-mail: a.v.smolyaninov@yandex.ru.

Рышков Валерий Иванович - Воронежский ГАСУ, канд. техн. наук, доцент, тел.(473) 230-41-35, e-mail: 794510@mail.ru.

Чабала Анатолий Петрович – ВУНЦ ВВС ВВА, канд. техн. наук, доцент, тел. 89056548400

пространстве с синхронной скоростью и вектором тока i_2 ; s –скольжение.

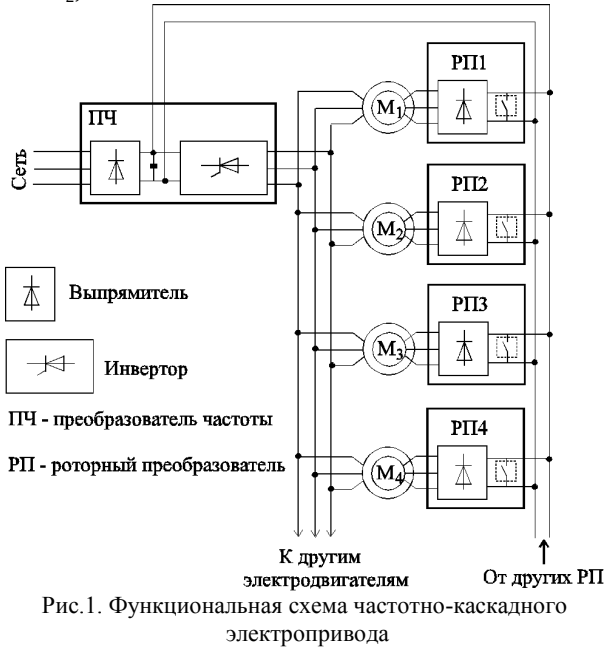


Рис.1. Функциональная схема частотно-каскадного электропривода

В результате формальных преобразований (1) составлена Т-образная схема замещения АДФ при частотно-каскадном управлении, приведенная к цепи ротора, а также получено выражение, определяющее угол δ

$$\delta = \arccos \frac{X_a \sqrt{(R_a^2 + X_a^2) U_l^2 K_s^2 s^2 - (X_a K_s \frac{d}{\alpha} - R_a)^2 U_2^2} - (X_a K_s R_a \frac{d}{\alpha} - R_a^2) U_2}{s K_s U_l (X_a^2 + R_a^2)}, \quad (2)$$

где $d = \frac{r_1'}{x_m}$; $K_s = \frac{1}{\tau + 1}$; $\tau = \frac{x_1'}{x_m}$ - коэффициент рассеяния статора;

$$X_a = \alpha \left(r_1' x_2 + \frac{r_2}{s} x_1' + x_m \left(r_1' + \frac{r_2}{s} \right) \right), \quad (3)$$

$$R_a = r_1' \frac{r_2}{s} - \alpha^2 (x_1' x_2 + x_m (x_1' + x_2)) -$$

реактивная и активная составляющие эквивалентного сопротивления Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя.

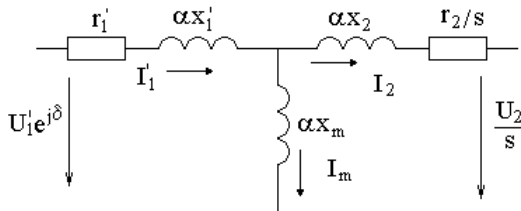


Рис.2. Схема замещения асинхронного двигателя с фазным ротором

Схема замещения, приведенная на рис.2, с учетом (2) позволяет получить основные характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором при частотно-каскадном управлении без преобразования исходных уравнений (1).

Ток статора

$$I_1' = \nu U_{1n}' \sqrt{\frac{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + \alpha^2 (x_2 + x_m)^2 + \left(\alpha x_m \frac{U_{2*}}{s}\right)^2 - 2\alpha x_m \frac{U_{2*}}{s} \times \left(\alpha (x_2 + x_m) \cos(\delta) + \frac{r_2}{s} \sin(\delta)\right)}{R_a^2 + X_a^2}}. \quad (4)$$

Ток ротора

$$I_2 = \nu U_{1n}' \sqrt{\frac{(\alpha x_m)^2 + 2\alpha x_m \frac{U_{2*}}{s} (r_1' \sin(\delta) - \alpha (x_1' + x_m) \cos(\delta)) + \left(\frac{U_{2*}}{s}\right)^2 (r_1'^2 + \alpha^2 (x_1' + x_m)^2)}{R_a^2 + X_a^2}}. \quad (5)$$

Электродвижущая сила

$$E_2 = E_1' = \alpha \nu U_{1n}' x_m \sqrt{\frac{\left(\left[\frac{r_2}{s}\right]^2 + [\alpha x_2]^2\right) \times \left(1 + \frac{2U_{2*}}{s} \cos(\delta) + \left[\frac{U_{2*}}{s}\right]^2\right)}{R_a^2 + X_a^2}}. \quad (6)$$

Поток в воздушном зазоре

$$\Phi_\alpha = \frac{\nu U_{1n}' x_m}{c_1 f_{1n}} \sqrt{\frac{\left(\left[\frac{r_2}{s}\right]^2 + [\alpha x_2]^2\right) \times \left(1 + \frac{2U_{2*}}{s} \cos(\delta) + \left[\frac{U_{2*}}{s}\right]^2\right)}{R_a^2 + X_a^2}}. \quad (7)$$

Электромагнитный момент определяется в соответствии с известным соотношением /2/

$$M = \frac{3E_2 I_2 \cos(\phi_2)}{\alpha \omega_0}, \quad (8)$$

где ϕ_2 – угол между векторами E_2 и I_2 ; $U_{2*} = \frac{U_2}{U_{1n}}$;

$$\nu = \frac{U_1}{U_{1n}}.$$

Нетрудно видеть, что числитель (8) представляет собой утроенное значение электромагнитной (активной) мощности вторичного контура

$$P_{эм} = E_2 I_2 \cos(\phi_2) = \operatorname{Re}(I_2^2 \left(\frac{r_2}{s} + j\alpha x_2\right) + \frac{U_2}{s} I_2) = \operatorname{Re}[I_2^2 \left(\frac{r_2}{s} + j\alpha x_2\right)] + \operatorname{Re}\left[\frac{U_2}{s} I_2\right] \quad (9)$$

Выделим в (9) вещественную часть

$$P_{эм} = \operatorname{Re}[I_2^2 \left(\frac{r_2}{s} + j\alpha x_2\right)] + \operatorname{Re}\left[\frac{U_2}{s} I_2\right] = I_2^2 \frac{r_2}{s} + \frac{U_2}{s} I_2 \cos(\phi_{12}) \quad (10)$$

где ϕ_{12} - угол сдвига фаз между током I_2 и напряжением U_2 .

Представив (10) в виде

$$P_{\Sigma\pi} = I_2^2 \frac{r_2}{s} + \frac{U_2}{s} I_2 = I_2 \left(I_2 \frac{r_2}{s} + \frac{U_2}{s} \right)$$
 перепишем выражение (8) в виде:

$$M = \frac{3(vU_{1n})^2}{\alpha\omega_0 s} \sqrt{\frac{(\alpha x_m)^2 + 2\alpha x_m \frac{U_{2*}}{s} (r_1' \sin(\delta) - \alpha(x_1' + x_m) \cos(\delta)) + \left(\frac{U_{2*}}{s}\right)^2 (r_1'^2 + \alpha^2 (x_1' + x_m)^2)}{R_a^2 + X_a^2}} \times \quad (11)$$

$$\times (U_{2*} + r_2 \sqrt{\frac{(\alpha x_m)^2 + 2\alpha x_m \frac{U_{2*}}{s} (r_1' \sin(\delta) - \alpha(x_1' + x_m) \cos(\delta)) + \left(\frac{U_{2*}}{s}\right)^2 (r_1'^2 + \alpha^2 (x_1' + x_m)^2)}{R_a^2 + X_a^2}})$$

Результаты расчета механических характеристик в соответствии с (11) при частотном ($U_{2*}=0$, $v=\alpha=\text{var}$) и каскадном ($U_{2*}=\text{var}$, $v=\alpha=1$) способах регулирования приведены на рис. 3 а) и б) соответственно.

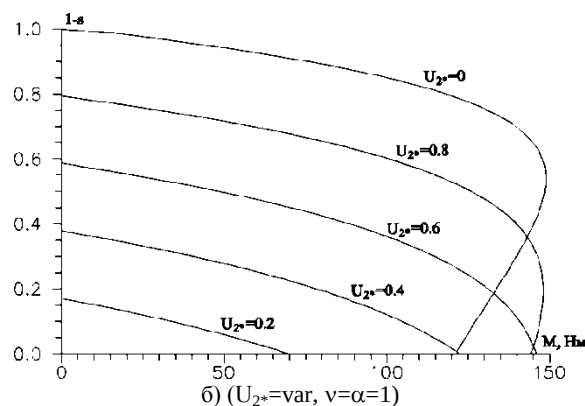
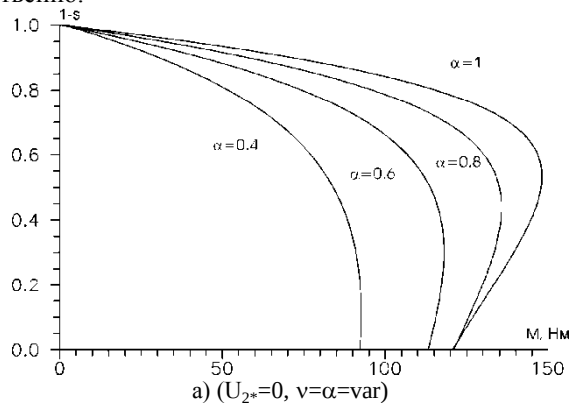


Рис. 3. Механические характеристики АДФ

Из анализа приведенных на рис. 3 а) механических характеристик АДФ видно, что при равенстве нулю активного сопротивления цепи выпрямленного тока ротора $\Sigma r_d = 0$ результаты расчета полностью соответствуют приведенным в [3] и отражают специфику частотного регулирования, а приведенные на рис. 3 б) характеристики АДФ показывают характерную особенность каскадного регулирования, т.е. постоянство критического момента. Все вышеизложенное свидетельствует о правильности полученных соотношений.

Литература

1. Волков В.Д. Перспективы применения электропривода переменного тока для тяги многоопорных автомобилей. [Текст] / В.Д. Волков, А.В. Смольянинов // Промышленность и высшая школа. 100 лет Российскому автомобилю: Материалы междунар. конф. - М.: МГААТМ (МАМИ), 1996.
2. Кулик Ю.А. Электрические машины. [Текст]: учеб. пособие для вузов. / Ю.А. Кулик - М.: «Выш. школа», 1971. - 456 с.
3. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление электроприводами. [Текст] / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов - М.: Энергия, 1974. - 328 с.

Воронежский государственный технический университет

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж)

ASYNCHRONOUS ELECTRIC MULTISUPPORTING TRANSPORT VEHICLES

V.D. Volkov, A.V. Smoljaninov, V.I. Ryshkov, A.P. Chabala

Considered traction electric multisupporting vehicles having a modular design and intended for the carriage of indivisible. Provides a functional block diagram of a frequency-cascade drive and expressions for the calculation of the basic characteristics of the induction motor in the joint management on the circuits of the stator and the rotor

Key words: vehicle electric drive, regulation, mechanical characteristic

АНАЛИЗ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕТЕЙ SMART GRID

В.Н. Крысанов, Ю.В. Шарапов, А.Л. Руцков

В статье анализируются вопросы программно-аппаратного обеспечения процессов управления компонентами «гибких» систем передачи переменного тока. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) в рамках комплекса Smart Grid

Ключевые слова: FACTS, Smart Grid, нейро – нечёткие сети, шунтирующий реактор, тиристорный регулятор напряжения

Тенденцией последнего времени в электроэнергетических системах (ЭЭС) является постепенный переход к так называемым сетям Smart Grid (SG) [1-4]. Объективными причинами подобного процесса являются:

- развитие современной аппаратной базы, обладающей, как правило, более высоким, в сравнении со старыми образцами, показателем эффективности (КПД, предел износостойкости и устойчивости);
- стремлением к оптимизации потерь электроэнергии, дорожающей с каждым годом;
- повышение требований отдельных потребителей и групп потребителей к качественным и количественным характеристикам ЭЭС.

На современном этапе становления электросетевой отрасли РФ характерна невысокая эффективность работы всех элементов системы (в сравнении с аналогичными зарубежными объектами) [5]. Решение этого вопроса наиболее продуктивно решается на основе FACTS (частный случай SG для сетей переменного тока) как на аппаратном, так и на алгоритмическом уровне.

Основными аппаратными реализациями FACTS, направленными на повышения энергоэффективности систем передачи энергии, являются активно-адаптивные элементы (быстродействующие и плавно регулирующие заданные параметры [4], а именно:

- управляемые конденсаторные батареи;
- управляемые шунтирующие реакторы
- статические компенсаторы реактивной мощности;
- статические регуляторы напряжения;
- применение альтернативных источников энергии и систем распределенной энергетики.

Применение последних позволяет уменьшить потери при передаче электроэнергии от генераторов к потребителю, уменьшить токи короткого замыкания при аварийных режимах, и стабилизировать напряжение при изменении нагрузки. Также генерация энергии в сеть с помощью локальных альтернативных источников позволяет снизить нагрузку на производителей электроэнергии, и обеспечить часть потребностей локального потребителя [4].

Рассмотрим более подробно аппаратную реализацию вышеописанных элементов FACTS.

Управляемые статические батареи конденсаторов – устройства, предназначенные для компенсации реактивной мощности. Цель использования конденсаторных батарей — снижение перетоков реактивной мощности, которое, в свою очередь, ведет к уменьшению загрузки ЛЭП, трансформаторов, позволяет регулировать напряжение внутри энергосистемы [6]. Управление группами конденсаторов в высоковольтных сетях обычно ведется при помощи полупроводниковых ключей (тириستоров или транзисторов). При управлении с помощью тиристоров (рис.1) при пересечении тока нулевой точки происходит отключение вентилей, при котором конденсатор остается заряженным до того момента как тиристор откроется снова. При следующем открытии тиристора могут появиться большие потери на переключение в следствии заряда конденсатора. Чтобы минимизировать данные помехи требуется включать вентили в тот момент, когда напряжение на тиристорах будет равно нулю (U_{sw} рис.1) [4].

Управляемый шунтирующий реактор – это переменное индуктивное сопротивление, плавно регулируемое подмагничиванием ферромагнитных элементов магнитной цепи. Магнитная система одной фазы УШР содержит два стержня. На каждом стержне размещены обмотки управления и сетевые обмотки.

При подключении к обмоткам управления регулируемого источника постоянного напря-

Крысанов Валерий Николаевич - ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 8-920-228-56-06, e-mail: sovteh2000@mail.ru
Шарапов Юрий Викторович - ВГТУ, аспирант, тел. 8-920-434-85-50, e-mail: razerofme@gmail.com
Руцков Алексей Леонидович - ВГТУ, аспирант, тел. 8-952-540-98-89, e-mail: alex_8_90@mail.ru

жения происходит нарастание потока подмагничивания, который в соседних стержнях направлен в разные стороны и вызывает насыщение стержней УШР в соответствующие полупериоды тока.

Насыщение стержней приводит к возникновению и возрастанию тока в сетевой обмотке за счет нелинейных свойств магнитопровода.

Изменение величины тока подмагничива-

ния приводит к изменению тока сетевой обмотки, за счет чего обеспечивается плавное изменение уровней напряжения в точке подключения УШР и величина потребляемой реактором реактивной мощности. [4]

Для управления протекающим через реактор током используются встречно направленные тиристоры, угол отпирания определяет эквивалентную индуктивность контура (рис.2).

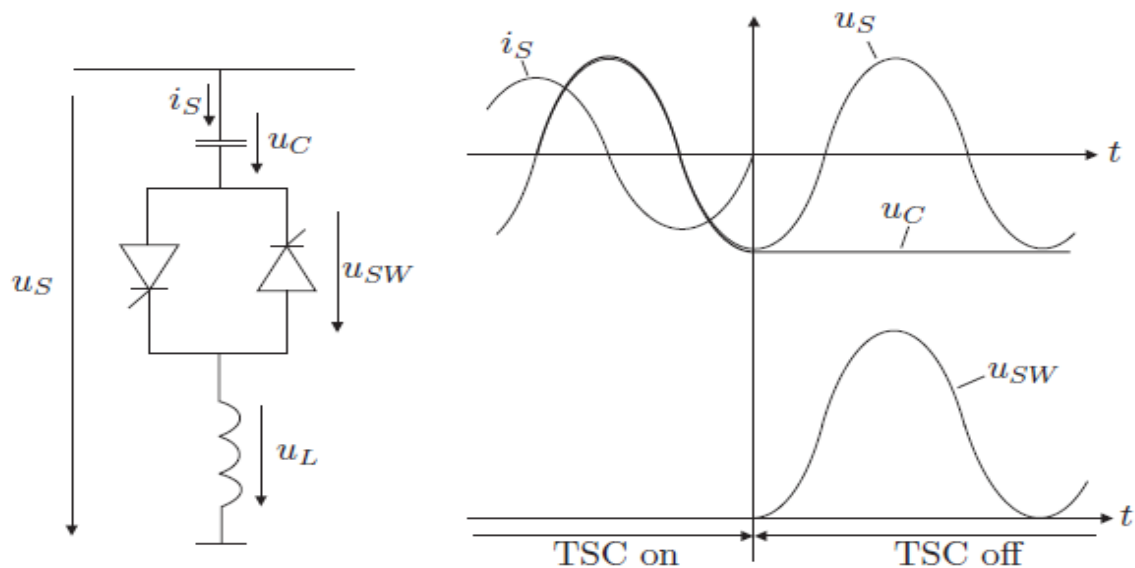


Рис.1. Управляемый тиристорами конденсатор – элемент управляемых статических батарей конденсаторов

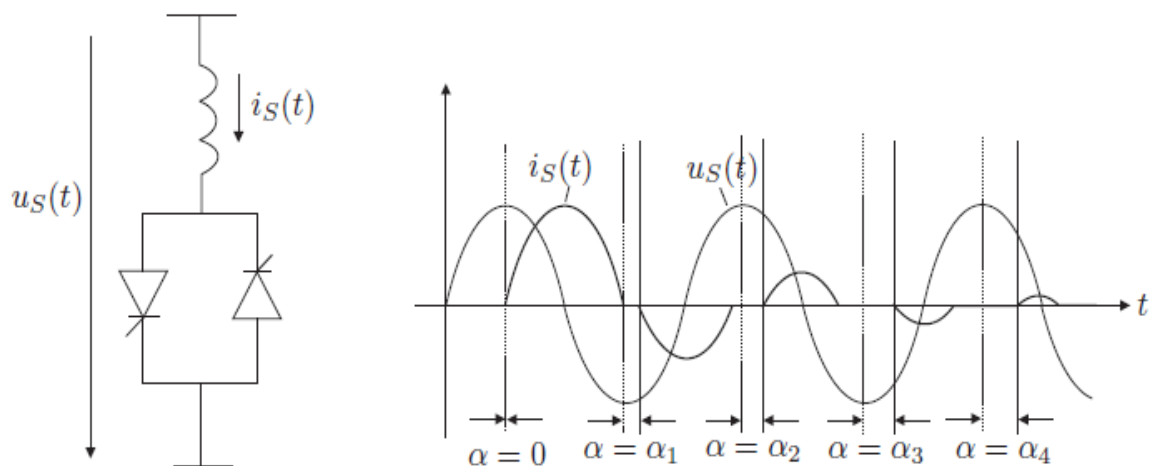


Рис.2. Управляемый шунтирующий реактор

Тиристорный регулятор напряжения (ТРН), является статическим трансформаторным преобразователем напряжения, одна из вариаций которого представлена на рис.3.

На рисунке показана электрическая схема одной фазы силового автотрансформатора (АТ), где обмотка среднего напряжения обозначена W2, высокого напряжения – W1, а низ-

кого напряжения – $W3$. Включенный в нейтраль АТ вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) имеет две обмотки $W4$ и $W5$, запитан от третичной обмотки АТ через две группы силовых ключей $V1$ и $V2$, осуществляющих регулирование напряжения на $W1$. Такой способ управления, благодаря высокому быстродействию и плавности регулирования напряжения, позволяет обеспечить снижение кратности перенапряжений, потерь электроэнергии при ее передаче и увеличение пропускной способности ЛЭП.

Как и в предыдущих случаях, для автоматического управления вентилями требуется

точное определение фазы сигнала, угла между током и напряжением, мгновенных значений токов и напряжений и т.д., а при использовании в системе управления нескольких подобных средств FACTS требуется централизованное управление с программным обеспечением, достаточным для эффективной работы всех функциональных узлов подобной системы. При этом необходимо решать сложные оптимизационные задачи по целому ряду заданных критериев регулирования. Такие задачи позволяют решать современные микропроцессоры и микроконтроллеры.

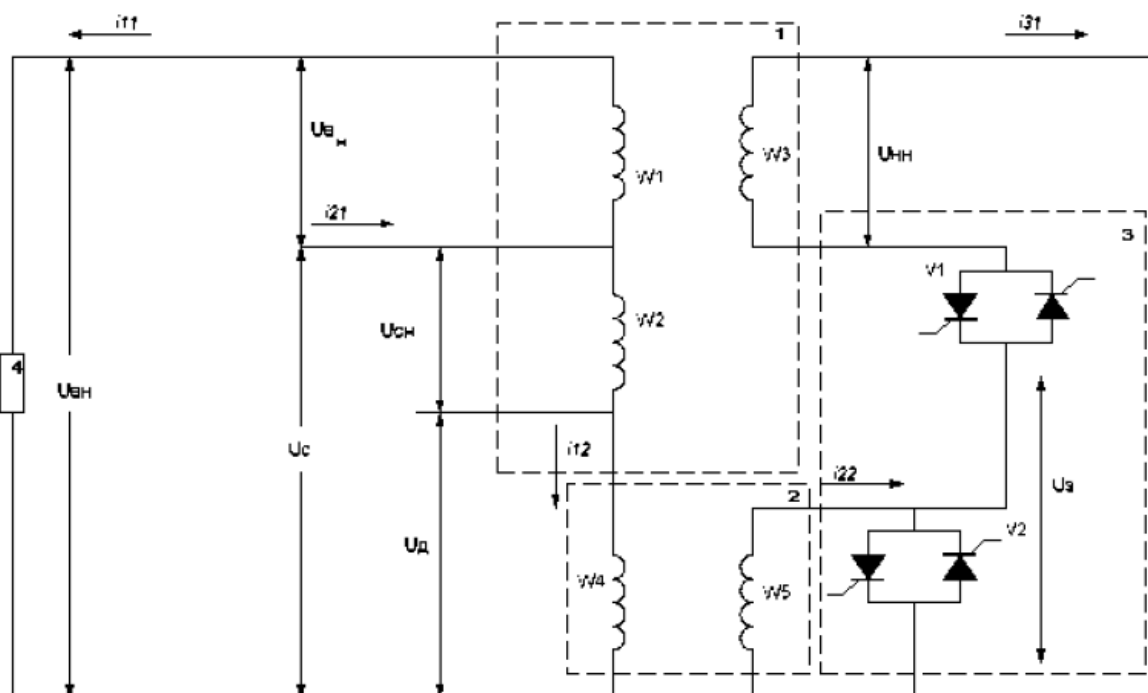


Рис.3. Тиристорный регулятор напряжения на основе силового автотрансформатора

Решение задачи управления УНР, приведенное в [7] показывает, что при применении микроконтроллера в качестве ядра системы управления возможно использовать более сложные алгоритмы работы, с применением математической модели системы, позволяющие добиваться высокого качества ээ во всех режимах работы. На рисунке 4 показано использование микроконтроллера ATmega32 в качестве управляющего элемента СУ тиристорного регулятора напряжения. Подобный способ управления позволяет не только качественно регулировать напряжение на обмотках линейного трансформатора с использованием адаптивных алгоритмов, но и успешно реализовывать сигналы управления от системы управления более высокого уровня по цифровому протоколу об-

мена в сети (где установлены другие регулирующие и измерительные элементы).

Архитектура микроконтроллеров фирмы Atmel семейства ATmega позволяет реализовывать сложные алгоритмы работы программного регулятора напряжения, сохраняя быстродействие реакции на сигналы задания и обратных связей системы управления. Подобные преимущества обусловлены следующими параметрами микроконтроллера:

- выполнение большинства единичных команд за один тактовый цикл (при частоте работы 16 МГц одна операция будет выполняться за время 62,5 нс);
- быстрый переход к режиму прерывания (позволяет реализовать быструю обработку датчиков по сигналу готовности от последнего)

- большой объем встроенной памяти программ и данных;
- встроенный блок энергонезависимой памяти с возможностью программной записи и стирания (позволяет хранить сведения о настройках и состоянии системы управления при аварийном отключении питания или хранить сведения о настройках различных коэффициентов САУ при отладке программного обеспечения);
- встроенные модули интерфейсов и 10 битный АЦП
- возможность использования внешних быстрых датчиков с подключением по каналу SPI;

По сравнению с микроконтроллерами других архитектур (PIC-17, MCS-51) архитектура используемого контроллера позволяет добиться максимально гибкого программного кода, который позволит добиться регулирования напряжения в большом диапазоне с возможностью контроля качества выходного сигнала сети и, при реализации многоконтурной системы управления энергоснабжением с использованием внутреннего интерфейса передачи данных, позволит не потерять качество преобразованного напряжения благодаря включению в сеть адаптивных фильтрующих элементов с цифровым управлением.

Использование преимуществ архитектуры микроконтроллеров AVR вместе с использованием измерительных «нуль-органов», подключенных к линиям прерывания микроконтроллера позволяет добиться быстродействия реагирования системы управления на переход считываемых сигналов через ноль с быстродействием сравнимым с быстродействием систем на базе микросхем стандартной логики.

Как было отмечено в [2,3], в ЭЭС на базе рассмотренных элементов (УБК, ШР, ТРН) важную роль, при вопросе многопараметрической оптимизации имеет решение вопроса определения последовательности случайных величин, создающих сложности при управлении процессами в ходе транспорта и потребления э/э. По этой причине, второй важной задачей, наряду с реализацией принципов Smart Grid на аппаратном уровне, является создание программно – алгоритмического комплекса, позволяющего проводить многопараметрическую оптимизацию в электроэнергетике региона в режиме реального времени.

Как отмечалось в [2 - 4] наиболее перспективным для решения этого вопроса является применение принципов искусственных нейронных (ИНС) и нейро-нечётких сетей (ННС).

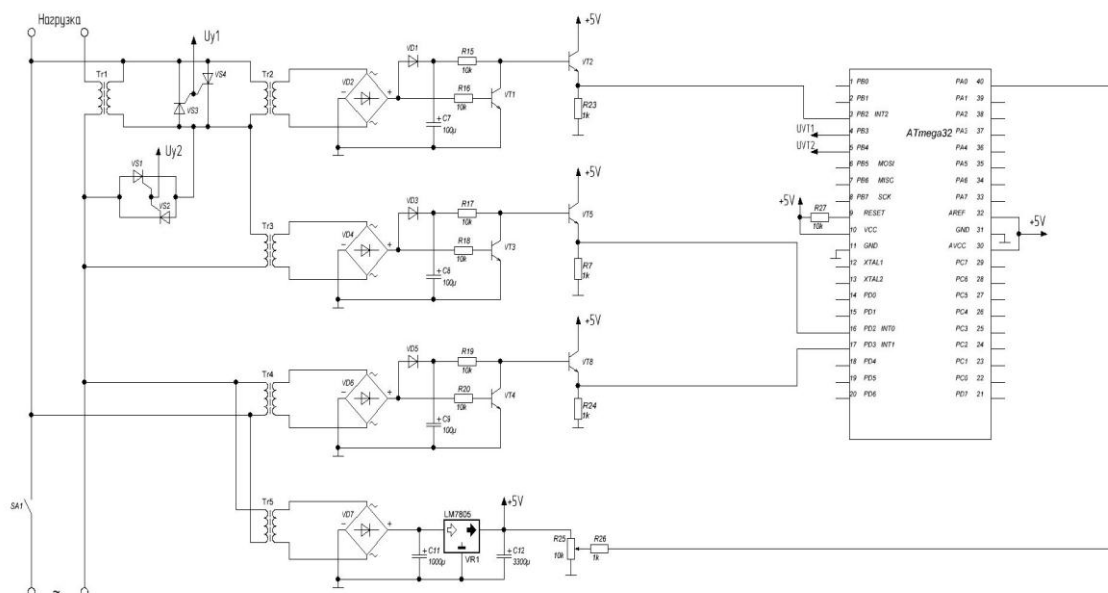


Рис.4. Тиристорный регулятор напряжения с применением микроконтроллера ATmega32 (цепи управления тиристорами не показаны)

Применение ННС (совместно с ИНС) видится в настоящее время наиболее перспективным подходом при решении вопросов оптимизации функционирования ЭЭС в условиях частичной неопределённости параметров. Это объясняется

следующими особенностями рассматриваемых методов:

- более качественное решение (в сравнении с прочими методами) задач с наличием

слабоформализуемых и неизвестных переменных в реальном времени;

- получение высоких точностных характеристик при минимизации ошибок, возникающих в ходе управления ЭЭС;

- гибкие возможности по функционированию СУ на базе ННС (ИНС) как самостоятельных, так и включённых в структуру иных подсистем [3].

Определение параметров экономической эффективности систем FACTS представляет собой сложную задачу и обусловлено высокой капиталоемкостью при проведении необходимых аппаратно-алгоритмических решений. Поэтому, наиболее эффективными при исследовании данного вопроса являются методы статистических оценок, математического и физического моделирования.

Данные способы исследования позволяют дать следующие приближённые выводы по оценке эффективности реализации систем SG (FACTS) [3]:

- эффективность применения рассматриваемых принципов оказывается тем выше, чем больше вклад неопределённых и слабоформализуемых и переменных во времени параметров в работу объекта управления;

- средний срок рентабельности по сектору транспорта э/э составляет 4,5 – 5 лет; по группам потребителей э/э – 2 – 3 года;

- необходимы значительные капиталовложения для реализации аппаратных и алгоритмических решений предлагаемой концепции (до 30 % ННВ модернизируемых элементов ЭЭС);

- наиболее перспективным методом (с точки зрения соотношения цена - информатив-

ность) стоит признать физическое моделирование с предварительным этапом математического и компьютерного моделирования.

Литература

1. Зайцев А.И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции Smart Grid [Текст] / А.И. Зайцев // Электротехнические комплексы и системы управления. - 2013. - №1 – С.71 – 76.

2. Модели и алгоритмы решения задачи оптимального регулирования напряжения узлов районных электрических сетей [Текст] / В.Л. Бурковский, Б.Г. Винников, В.В. Картавцев, Д.А. Зеленский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т.5. – № 8-1. – С. 144-149.

3. Крысанов, В.Н. Вопросы концептуального развития Smart Grid в электроэнергетике с применением принципов искусственных нейронных (ИНС) и нейро-нечётких сетей (ННС) [Текст] / В.Н. Крысанов, К.С. Гамбург, А.Л. Руцков // Электротехнические комплексы и системы управления - 2014. - № 1. – С.7 – 15.

4. Крысанов В.Н. Использование современных микроконтроллерных средств вычисления для управления устройствами «гибких» систем передачи переменного тока FACTS [Текст] / В.Н. Крысанов, Ю.В. Шарапов // Электротехнические комплексы и системы управления. - 2014. – № 3. - С.62 – 67.

5. Крысанов, В.Н. Повышение эффективности управления подстанции 220 кВ [Текст] / В.Н. Крысанов, Н.В.Гагаринов, А.Л. Руцков // Энергобезопасность и энергосбережение - 2015. - № 1. – С.48 – 53.

6. Бурковский В.Л. Математическая модель оптимизации загрузки автотрансформаторов в системообразующей электрической сети [Текст] / В.Л. Бурковский, Б.Г. Винников, В.В. Картавцев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т.5. – № 8-1. – С. 163-165.

7. Суворов А.А. Всережимная модель управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора в электроэнергетических системах [Текст] // Сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий» - г. Томск 10-12 2013 г. – с.165-167

Воронежский государственный технический университет

ANALYSIS OF HARDWARE-SOFTWARE PROVIDING SMART GRID NETWORKS

V.N. Krysanov, Y.V. Sharapov, A.L. Rutskov

This article discusses the use of neuro-fuzzy networks and artificial neural networks to control the components of Flexible AC Transmission Systems in the Smart Grid complexes

Key words: FACTS, Smart Grid, neuro - fuzzy networks, shunt reactor, thyristor voltage regulator

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА КАК ОДНОГО ИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ КАТОДНОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ

А.В. Звягинцева

Рассмотрены теоретические вопросы роста кристаллической решетки при формировании электрохимических систем. Показано применение теории перенапряжения кристаллизации Косселя и Странского для катодного электроосаждения металла из водных растворов электролитов в том, что постоянный рост плоскостей решетки может осуществляться через определенные дефекты, такие как винтовые дислокации без образования новых поверхностных зародышей. Рассмотрено применение теории Бокриса к обоснованию нашего утверждения о возможности применения импульсных режимов электролиза для формирования металлических структур с оптимальной степенью дефектности, которая будет определять активные центры образования соединений металл-водород

Ключевые слова: электрохимическая система, дефектность структуры, винтовые дислокации, соединения металл-водород

В настоящее время в качестве накопителей водорода всё больше уделяется внимание гидридам металлов и сплавам, содержащим гидридообразующие компоненты (Ti, Ni, Al, Zr, Hf...). Для получения эффективных систем хранения водорода необходимо, прежде всего, определить химический состав металлической структуры, позволяющей с высокой степенью возможности образования гидридов формировать необходимые электродные системы. На рис.1. представлены электронные структуры элементов, имеющих наибольшее сродство к водороду, взаимодействие с которым осуществляется с наименьшей энергией. Металлы побочных подгрупп IVB и VB могут быть использованы для этих целей и при электронной конфигурации $4s^2 3d^2$ и $4s^2 3d^3$ позволяют получить гидриды соответствующих металлов Ti и V. Металлы данной группы способны образовывать устойчивые соединения с водородом, термическое разложение которых возможно при температурах, лежащих в пределах 150-200 °C. Однако, электрохимическое получение гидридов при катодном восстановлении катиона гидроксония H_3O^+ для этих металлов затруднено, наблюдаются кинетические трудности, связанные с наличием оксидной пленки на поверхности этих металлов в растворах электролитов.

Номер периода, группы	IV B	V B
n = 4	^{22}Ti $3d^2 4s^2$	^{23}V $3d^3 4s^2$
n = 5	^{40}Zr $4d^2 5s^2$	^{41}Nb $4d^4 5s^1$
n = 6	^{72}Hf $5d^2 6s^2$	^{73}Ta $5d^3 6s^2$

Рис. 1а. Электронные структуры элементов, имеющих наибольшее сродство к водороду IV B и V B группы

Мы основываемся на предположении, что наиболее оптимальным методом аккумуляирования водорода является электрохимический способ восстановления катиона гидроксония из водных растворов электролитов.

Элементы VI группы	^{24}Cr	-	^{26}Fe	^{27}Co	^{28}Ni
n = 4	$3d^5 4s^1$	-	$3d^6 4s^2$	$3d^7 4s^2$	$3d^8 4s^2$

Рис. 1б. Электронные структуры элементов, имеющих наибольшее сродство к водороду VI B группы

Элементы VIII группы	^{44}Ru	^{45}Rh	^{46}Pd
n = 5	$4d^7 5s^1$	$4d^8 5s^1$	$4d^{10} 5s^0$
Элементы VIII группы	^{76}Os	^{77}Ir	^{78}Pt
n = 6	$5d^6 6s^2$	$5d^7 6s^2$	$5d^9 6s^1$

Рис. 1в. Электронные структуры элементов, имеющих наибольшее сродство к водороду VIII B группы

К элементам, имеющим наибольшее сродство к водороду, можно отнести некоторые d-электронные структуры других переходных металлов (рис. 1б). Анализируя положение элементов в системе Д.И. Менделеева можно сделать заключение, что некоторые переходные металлы, например, Ni, Cr, Fe, полученные методом гальваностегии, могут взаимодействовать с водородом при их катодном восстановлении. Следует обратить внимание на тот факт, что легирование элементами IIIA группы, например бором в сплаве Ni-B, позволяет увеличить вероятность образования гидридных соединений в структуре металлов, как показано в ряде работ, например [2]. Данное явление - возможность повышенного содержания водорода в структуре металла автор связывает с увеличением концентрации дефектов структуры в единице

объема, наличие структурных и водородных ловушек. Что касается других известных d-элементов, которые весьма активно взаимодействуют с водородом, то можно выделить группу платиновых элементов (рис. 1в).

Однако эти элементы относятся к разряду драгоценных металлов, и практическое их использование для аккумуляирования водорода не представляется целесообразным. Их использование для аккумулятора водорода экономически нецелесообразно, поскольку высокая стоимость таких устройств не позволяет конструировать аккумуляторы массового производства. Вместе с тем следует указать на ряд редкоземельных элементов, которые легко взаимодействуют с водородом. Это лантаноиды (редкие земли): ${}_{62}\text{Sm}$ ($4f^6 6s^2$), ${}_{64}\text{Gd}$ ($4f^7 5d^1 6s^2$), ${}_{65}\text{Tb}$ ($4f^9 6s^2$), ${}_{66}\text{Dy}$ ($4f^{10} 6s^2$), ${}_{67}\text{Ho}$ ($4f^{11} 6s^2$). Однако их применение для практических целей ограничено. Связи с малым содержанием в земной коре. Таким образом, в качестве систем аккумуляирования водорода в гидридной форме наиболее перспективным является использование переходных элементов IVB и VB подгрупп. Помимо этих металлов склонность к образованию соединений с водородом проявляют лантаноиды, а из наиболее распространенных d-элементов сродством к водороду обладают хром и никель.

Анализируя электронные структуры данной схемы можно высказать некоторое предположение о том, что имеется взаимосвязь аномальных магнитных свойств некоторых элементов с возможностью легко взаимодействовать с водородом. Так, исключительными ферромагнитными свойствами обладают элементы нижеприведенного ряда: ${}_{26}\text{Fe}$, ${}_{27}\text{Co}$, ${}_{28}\text{Ni}$ (d-элементы) и ${}_{62}\text{Sm}$, ${}_{67}\text{Ho}$ (4f-элементы). Попытка установить взаимосвязь со структурной кристаллической решетки элементов, взаимодействующих с водородом, пока не выявлена. С другой стороны, взаимодействие водорода со структурой металлов, как правило, осуществляется наиболее эффективно по дефектам структуры. Очевидно, дефекты структуры (границы зерен, выходы дислокаций на поверхность и другие) имеют, наиболее, высокий потенциал взаимодействия с водородом. В частности в работе [3] в процессе взаимодействия водорода с металлами в водных растворах электролитов при одновременном разряде катионов Me^{n+} и катионов водорода H^+ возможно протекание реакций по схемам, приведенных ниже:

1. $\text{H}_3\text{O}^+ - \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+$ (кислая среда);
2. $\text{Me}^0 + \text{H}^+ + 1e \rightarrow \text{MeH}$.
3. $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (нейтральная среда);
4. $\text{Me}^0 + \text{H}^0 \rightarrow \text{MeH}$.

Если учесть специфику взаимодействия определенных металлов в водных растворах, то это можно сказать, что это возможно и в анионной форме. Например, восстановление аниона CrO_4^{2-} осуществляется на катоде. Поэтому вопросу существует несколько теорий [4]. Формирование

дефектов структуры связано с локальными изменением концентрации разряжающихся катионов металла, возможными эффектами тепловыделения, в результате которых как следствие изменяются градиенты температур для определенных участков электрода. В некоторых случаях причиной определяющей возникновение дефектов может служить изменение кислотности прикатодного слоя. Формирование дефектов структуры на катоде следует признать целесообразным при создании структур с высокой степенью аккумуляирования водорода. В этом случае по нашему мнению наиболее перспективно применение импульсных режимов формирования металлческих структур (изменение гидродинамических условий, использование ультразвука, импульсная гальванотехника). На рис.2 представлена вероятность изменения структуры металлов при ее формировании в постоянно токовом и импульсном режиме.

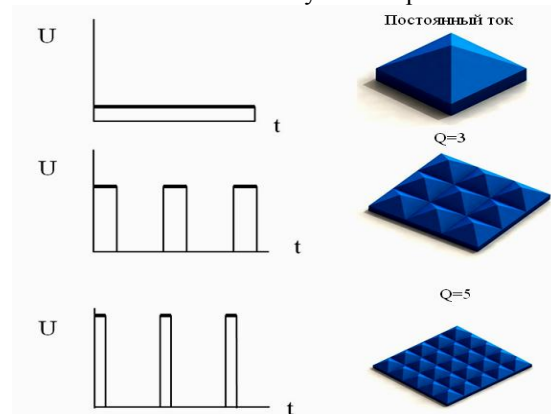


Рис. 2. Вероятность изменения структуры металлов (например, никеля): 1- в постоянно токовом режиме; 2, 3 – в импульсном режиме электролиза при скажности $Q = 3$ и $Q = 5$

Поскольку аккумуляирование водорода предполагается осуществлять за счет электрохимической реакции, то необходимо выполнить условие равнодоступности ко всем точкам поверхности электрода, находящегося в контакте с электролитом. Наиболее вероятное взаимодействие атомов водорода с металлом происходит по дефектам структуры [5]. Исходя из этого, необходимо выполнить условия, при которых формируются дефекты. К числу таких дефектов относятся границы зерен кристаллитов, вакансии и дислокации. Для образования структур с максимальной степенью дефектов на единицу поверхности необходимо осуществлять электрохимический процесс, при котором число центров зародышеобразования будет стремиться к максимуму, что происходит с ростом плотности тока (рис. 2.). Так же необходимым условием является возможность электрохимического образования каналов с разветвленной структурой. Согласно феноменологической теории диффузии водорода в металлах [5] наличие водородных «ловушек» в структуре металла препятствует

полной экстракции водорода из накопителя. Поэтому для эффективного использования аккумулятора водорода необходимо иметь в структуре металла каналы транспорта молекулярного водорода. С другой стороны, формируемые каналы по своей геометрии должен обеспечивать оптимальную редукцию образующегося газа. Технологические приемы для получения таких структур предполагают использование импульсного электролиза.

Теория перенапряжения кристаллизации, прежде всего, должна основываться на закономерностях роста кристаллов.

Рассмотрим теоретические вопросы роста кристаллической решетки при формировании электрохимических систем. В работе [6] показано применение теории перенапряжения кристаллизации Косселя и Странского при катодном электроосаждении металла из водных растворов электролитов через образование промежуточных ад-атомов (адсорбционный слой). Согласно этой теории рост кристаллической решетки металла осуществляется через образование поверхностных зародышей и на поверхности формирующегося кристалла могут реализоваться три состояния атома или катиона. Схематически это показано на рис. 3. Кратко рассмотрим все 3 возможные состояния частицы, разряжающейся на катоде. Состояние, а соответствует нахождению атома (катиона) вне металлической фазы. В положении б атом (катион) находится на плоскости решетки в виде ад-атома (ад-катиона), в положении в – в кристаллической ступени и г – в полукристаллическом положении, которое называется также местом роста кристалла. Можно сделать заключение, атом или катион, восстанавливающийся на катоде, может включаться в кристаллическую решетку, только тогда он находится в полукристаллическом состоянии на ступени роста кристалла. Необходимо отметить, что кристаллизация металлов или сплавов может осуществляться разными путями с различной скоростью электровосстановления. На рис. 3 показаны возможные пути протекания процесса электрокристаллизации металла из водного раствора. Путь 1 проходит через все промежуточные состояния, $a = б = в = г$ (показан сплошными линиями), путь 2 – через $a = в = г$ (длинные штрихи) и путь 3 – непосредственно, $a = г$ (короткие штрихи). Совершенно очевидно встает основной вопрос электрохимической кинетики. Каким способом из четырех возможных путей осуществиться формирование электрохимической системы? Согласно рассмотренной теории, этот процесс зависит от энергий активации отдельных стадий и от частоты осуществления этих состояний. Второй важный вопрос, на который отвечает теория роста кристаллов Косселя – Странского, как осуществить постоянный рост плоскостей кристаллической решетки – один из вариантов через образование определенных дефектов структуры. Если плоскость растущей

кристаллической решетки не имеет дефектов структуры, то она воспроизводится целиком и места роста кристалла исчезают. Далее необходимо образование нового двухмерного зародыша (поверхностного зародыша), на котором происходит построение следующей плоскости кристаллической решетки по местам роста.

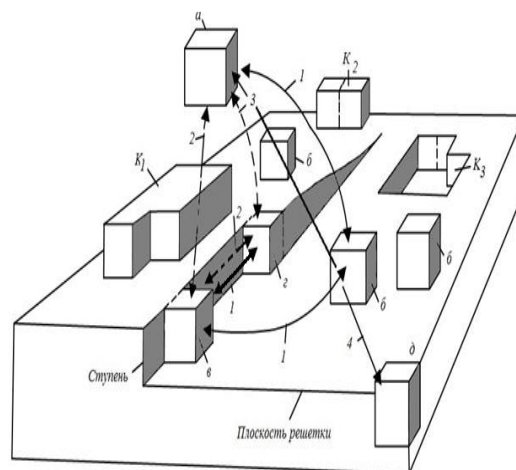


Рис. 3. Схематическое изображение процесса кристаллизации по теории Косселя и Странского. Различные положения атомов: а – другая фаза (газ, расплав, электролит); б – на плоскости решетки [ад-атом/ион]; в – положение в ступени; г – место роста; д – верхний заполненный атомный слой; K_1 , K_2 , K_3 – поверхностные зародыши; 1 – 4 – пути кристаллизации

На рис. 3. показаны поверхностные зародыши K_1 и K_2 , предназначенные для построения, а K_3 для разрушения плоскости решетки.

Плоскости решетки, свободные от дефектов, могут возникать только на малых кристаллических плоскостях. Согласно теории Бартон, Кабрера и Франка [6], через определенные дефекты, которые возникают в реальных кристаллах, например, такие как винтовые дислокации, постоянный рост плоскостей кристаллической решетки может осуществляться без образования новых поверхностных зародышей. При наличии дефекта решетки – винтовая дислокация ступень (положение г, рис. 3) постоянно содержит места роста (полукристаллическое положение).

Таким образом, дефекты структуры в электрохимических системах следует признать целесообразными при создании структур с высокой степенью аккумулярования водорода. Металлы имеют различные структурные дефекты. Они изменяют кинетику абсорбции водорода и его содержание в единице объема. Поэтому предельные возможности металлов по обратимой сорбции водорода следует рассматривать с учетом полей напряжений структурных дефектов.

Исследования возможности электрохимических систем к поглощению водорода проводим по двум направлениям:

1. Формирование структуры металла и сплава с определенной степенью дефектности. Здесь возможно два варианта: а) введение в основной металл примесей неметаллов или поверхностно-активных добавок в электролит, способствующих получению мелкокристаллической структуры с оптимальной степенью дефектности формируемой электрохимической системы; б) использование импульсных режимов электролиза.

2. Дополнительное введение водорода в металлическую матрицу [7-10].

Одним из способов формирования металлических структур электрохимическим методом с оптимальной степенью дефектности это возможность применения импульсных режимов. Рассмотрим теоретические аспекты применения теории Бокриса к обоснованию нашего утверждения о возможности применения импульсных режимов электролиза для формирования металлических структур с заданной дефектностью структуры, которые будут определять активные центры образования соединений металл-водород. Поскольку число центров кристаллизации в гальванических процессах зависит от плотности тока, то можно предположить, что неравномерность локальных значений i_k будет определять активные центры образования соединений металл-водород. Согласно теории Бокриса если наступает обеднение ад-атомами и возникает перенапряжение кристаллизации, то локальная плотность тока i_l вблизи ступеней роста больше, чем на средних участках поверхности. Кроме этого, показано определение работы и энергии по образованию и росту поверхностных зародышей, согласно Эрдей-Грузу и Фольмеру применительно к электрохимическим процессам. Действительно, увеличение значения i_k в импульсе, повышает абсолютное значение перенапряжения зародыша, исходя, из которого работа по образованию зародыша уменьшается.

Поскольку число центров кристаллизации в гальванических процессах зависит от плотности тока, то можно предположить, что неравномерность локальных значений i_k будет определять активные центры образования соединений металл-водород. Согласно Бокрису [6] если наступает обеднение ад-атомами и возникает перенапряжение кристаллизации, то локальная плотность тока i_l вблизи ступеней роста больше, чем на средних участках поверхности. Это распределение локальной плотности тока может быть определено по формуле:

$$i_l = i_0 \cdot \left[e^{+\frac{\alpha z F}{RT} \eta} - e^{-\frac{(1-\alpha) z F}{RT} \eta} \right] \cdot e^{\frac{(x_0 - x)}{\lambda_0} + e^{-\frac{x_0 - x}{\lambda_0}}} \cdot \frac{e^{\frac{x_0}{\lambda_0}} + e^{-\frac{x_0}{\lambda_0}}}{e^{\frac{x_0}{\lambda_0}} + e^{-\frac{x_0}{\lambda_0}}} \quad (1)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{z F D \bar{c}}{i_0}} \cdot e^{-\frac{\alpha z F \eta}{2 R T}} \quad (2)$$

где i_l - локальная плотность тока; i_0 - плотность тока обмена; α_+ , α_- - коэффициент перехода анодной и катодной реакции; z - алгебраическая величина заряда частицы; валентность; F - постоянная Фарадея; η - перенапряжение; x_0 - начальная координата ступени роста; x - расстояние до следующей ступени роста; λ_0 - глубина проникновения поверхностной диффузии.

Следует отметить, что возникновение зародыша возможно лишь при условии, что величина локальной плотности тока обеспечивает возможность образования зародыша. Энергию зародышеобразования можно определить по формуле, согласно Эрдей-Грузу и Фольмеру для работы образования зародыша при электрохимическом процессе:

$$A_3 = \frac{\pi q^2 A}{z F |\eta|} \quad (3)$$

где q - плотность объемного заряда через A - ($\text{см}^2/\text{моль}$) обозначена площадь, которую занимает один моль в мономатомном слое, то поверхностный зародыш содержит:

$$n = \pi \cdot r^2 / A \quad (\text{моль}). \quad (4)$$

Согласно этой формуле работа по образованию зародыша будет тем меньше, чем выше значение перенапряжения. В реальных условиях число центров кристаллизации определяется по формуле:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{A_3}{k T}}. \quad (5)$$

Таким образом, исходя из формулы (5) число центров зародышеобразования будет увеличиваться с уменьшением работы по образованию одного зародыша. Поэтому использование импульсного тока позволяет управлять степенью кристалличности структуры.

В этом уравнении значительную трудность представляет вычисление константы N_0 . Для образования поверхностных зародышей из паровой фазы Каишев и Странский, а также в более совершенном виде Беккер и Деринг рассмотрели коэффициент пропорциональности N_0 с кинетических позиций, пренебрегая поверхностной диффузией. По данным Беккера и Деринга, константа N_0 равна числу соударений с поверхностью из кинетической теории газов.

Следуя Эрдей-Грузу и Фольмеру при электрохимических условиях после подстановки работы образования зародыша A_3 из уравнения (3) в уравнение (5) для зависимости скорости образования зародышей N ($\text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) от перенапряжения получается:

$$N = N_{0e} e^{-\frac{\pi q^2 A}{k T z F \eta l}} \quad (6)$$

где k – постоянная Больцмана.

Подтверждением возможности использования импульсного тока для увеличения числа центров зародышеобразования являются вышеприведенные формулы. Действительно, увеличение значения i_k в импульсе, согласно формуле (3) повышает абсолютное значение перенапряжения зародыша, исходя, из которого работа по образованию зародыша значительно уменьшается. Таким образом, использование импульсного электролиза позволяет формировать катодные осадки с оптимальной степенью дефектности структуры (границы зерен, выходящие на поверхность дислокации) с которыми наиболее эффективно взаимодействует водород в процессах совместного разряда катионов металла и водорода на катоде. Для повышения удельной емкости в накопителе необходимым является наличие дефектов структуры в качестве ловушек водорода. Наиболее интересными объектами исследования в этом плане являются аморфные сплавы. Состав сплава регулируются, и подбирается таким образом, чтобы получилась надлежащая упругость диссоциации водорода [1]. В качестве таких накопителей (абсорбатов водорода) могут выступать аморфные сплавы на основе алюминия или никеля. Причем в качестве легирующих компонентов могут выступать бериллий, бор, ниобий, и редкоземельные элементы.

Литература

1. Гамбург, В.Ю. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение [Текст]: Справ. изд. /Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовкин, Л.Н. Смирнов; под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. - М.: Химия, 1989. - 672 с.

2. Zvyagintseva, A.V. Interaction peculiarities of hydrogen and Ni-B galvanic alloys [Текст] / A.V. Zvyagintseva// Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems. Springer. - 2008. - P. 437 – 442.

Воронежский государственный технический университет

3. Реми, Г. Курс неорганической химии. [Текст] / Г. Реми - М.: Изд-во «Мир», 1966. - Т.2. - 836 с.

4. Лайнер, В.И. Защитные покрытия. [Текст] / В.И. Лайнер. - М.: Металлургия, 1974 - 559 с.

5. Бекман, И.Н. Феноменологическое описание диффузии в дефектных средах [Текст]/ И.Н. Бекман; под ред. А.П. Захарова. - Физика, химия и механика поверхности. Взаимодействие водорода с металлами. - М.: Наука, 1987. - 296 с.

6. Феттер, К. Электрохимическая кинетика. [Текст]/ К. Феттер - М.: Изд-во «Химия», 1967. - 856 с.

7. Zvyagintseva, A.V. On the Stability of Defects in the Structure of Electrochemical Coatings [Текст] / Zvyagintseva A.V., Shalimov Yu. N. //Surface Engineering and Applied Electrochemistry. - 2014. - Vol. 50. - No. 6. - PP. 466–477.

8. Пат. № 2521904 Российская Федерация. МПК ⁵¹, F17C 11/00. Аккумулятор водорода. [Текст] /Звягинцева А.В. Заявитель и патентообладатель - Звягинцева А.В. – 2013113421/06; заявл. 10.08.2013; опубл. 10.07.2014; бюл. № 19; - 5с.

9. Пат. № 2530235 Российская Федерация. МПК ⁵¹, C22B 9/16, B22D 27/02, C01B 6/24, C22C 19/03, C22F 1/10. Применение электролитического расплава для получения сплава Ni-B для аккумуляторов водорода. [Текст] /Звягинцева А.В., Шалимов Ю.Н. Заявитель и патентообладатель - Звягинцева А.В. – 2013101100/02; заявл. 20.07.2014; опубл. 10.10.2014; бюл. № 28; - 3с.

10. Пат. № 2530230 Российская Федерация. МПК ⁵¹, C22C 19/03, C01B 6/24, C25C 1/24, C22F 3/00, C25C 3/36. Способ получения сплава Ni-B с дефектами структуры, используемого в качестве аккумулятора водорода [Текст] /Звягинцева А.В., Шалимов Ю.Н. Заявитель и патентообладатель - Звягинцева А.В. – 2013106114/02; заявл. 12.08.2013; опубл. 10.07.2014; бюл. № 28; - 3с.

11. Пат. № 2529339 Российская Федерация. МПК ⁵¹, B22D 27/02, C22F 3/02. Способ получения сплава с нарушенной структурой для аккумуляторов водорода. [Текст] /Звягинцева А.В., Голодяев А.И. Заявитель и патентообладатель - Звягинцева А.В. и Голодяев А.И.– 2013113425/02; заявл. 10.08.2013; опубл. 27.09.2014; бюл. № 27; - 4с.

POSSIBILITY OF PULSE ELECTROLYSIS AS A METHOD FORMATION STRUCTURAL DEFECTS AT CATHODIC METAL REDUCTION

A.V. Zvyaginseva

Abstract: Theoretical questions of growth of a crystal lattice when forming electrochemical systems were considered. Application of the theory of an overstrain of crystallization of Kossel and Stransky was shown for cathodic electro deposition of metal from water solutions of electrolytes, also was shown that the continuous growth of the lattice planes can be carried out through certain defects, such as screw dislocations without formation of new surface germs. Bokris's theory was applied to justification of our statement about possibility of application of pulse modes of electrolysis for the purpose of formation of metal structures with a given defect, which will determine the active centers of formation of compounds of the metal-hydrogen

Keywords: electrochemical system, given the structure defects, screw dislocations, connections metal-hydrogen

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ АДСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК SnO_2

С.И. Рембеза, Т.В. Свистова, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева, С.В. Овсянников

Исследовалось влияние оптического излучения маломощных (порядка 75 мВт) светодиодов фиолетового, зеленого и синего спектра излучения на электросопротивление и газовую чувствительность тестовых структур датчиков газов на основе SnO_2 . Установлено, что оптическая активация поверхности SnO_2 увеличивает газовую чувствительность датчика и вызывает появление дополнительного пика газовой чувствительности в области температур более низких, чем температура максимальной газовой чувствительности датчика без освещения. Результаты указывают на существование двух механизмов светового стимулирования процессов адсорбции газов поверхностью пленок SnO_2 .

Ключевые слова: датчики газов, чувствительность, маломощный светодиод, оптическая активация

В связи с развитием промышленности и увеличением вредных выбросов в атмосферу существует необходимость в создании экономичных и дешевых датчиков для обнаружения и измерения предельно допустимой концентрации токсичных и взрывоопасных газов в воздухе. Газовые датчики на основе металлооксидных полупроводников диоксида олова и оксида цинка при температурах 300 – 400 °С реагируют изменением электросопротивления на присутствие в атмосфере широкого спектра вредных и опасных газов, обладают малым временем отклика и высокой чувствительностью, позволяющей определять присутствие многих неорганических и органических газов в воздухе [1].

Активировать адсорбционные процессы на поверхностных состояниях полупроводникового датчика газов можно оптическим воздействием на чувствительные элементы. При одновременном взаимодействии с газом и светом возможно изменение температуры и величины газовой чувствительности [2, 3].

Целью данной работы является исследование влияния излучения маломощных светодиодов фиолетового, зеленого и синего спектра излучения на газовую чувствительность датчиков газов на основе диоксида олова.

В качестве экспериментальных образцов использовались тестовые структуры датчиков газов, созданные с использованием микроэлектронной технологии. Чувствительные элементы датчиков синтезированы методом реактивного магнетронного распыления на основе поликристаллических пленок SnO_2 с добавкой 1 % ат. Si [4]. Кристалл датчика имеет размеры $1 \times 1 \text{ мм}^2$, содержит тонкопленочный

платиновый нагреватель и встречно-штыревые контакты к чувствительным слоям с расстоянием между электродами 10 мкм.

Газовая чувствительность датчиков газов к парам этилового спирта и ацетона в воздухе исследовалась при температурах 20 – 400 °С. Температура датчика оценивалась по величине сопротивления нагревательного элемента. Газовая чувствительность S_g определялась, как отношение сопротивления чувствительного элемента на воздухе (R_b) к сопротивлению чувствительного элемента при напуске в измерительную камеру известной концентрации исследуемого газа (R_r): $S_g = R_b / R_r$ [5].

Для облучения использовались маломощные светодиоды разных цветов: фиолетового ARL2-5213 UVC с длиной волны 407 нм, синего ARL-5213 UBC с длиной волны 458 нм и зеленого ARL-5513 PGC с длиной волны 526 нм, расположенные на расстоянии 2 мм от газочувствительной пленки.

Исследование влияния излучения маломощных светодиодов на электросопротивление чувствительных слоев на основе диоксида олова при комнатной температуре ранее показало [6], что облучение поликристаллических полупроводниковых пленок SnO_2 излучением с энергией, большей ширины запрещенной зоны, приводит к увеличению концентрации свободных носителей зарядов и к уменьшению электросопротивления пленки. Под действием оптического излучения электросопротивления пленок диоксида олова изменяется сложным образом и описывается тремя экспонентами, которые отражают различные физические процессы. После выключения света происходит очень медленная релаксация электросопротивления, которая также может быть описана тремя экспонентами. Характеристические времена релаксации при отсутствии излучения отличаются от релаксационных параметров изменения сопротивления при освещении пленки.

В наших экспериментах воздействие излучения светодиодов при комнатной температуре приводит к уменьшению электросопротивления сенсорных элементов на 20 – 80 %. При воздействии фиолетового излучения после включения светодиода сопротивление сенсора уменьшается и достигает некоторого стационарного значения. В соответствии с энергией световых квантов действие фиолетового излучения приводит к переходу электронов из ва-

Рембеза Станислав Иванович - ВГТУ, д-р физ.-мат. наук, профессор, тел. (473)243-76-95
e-mail: rembeza@yandex.ru

Свистова Тамара Витальевна - ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473)243-76-95
e-mail: svistamara@yandex.ru

Рембеза Екатерина Станиславовна - ВГТУ, д-р физ.-мат. наук, профессор, тел. (473)243-76-95
Кошелева Наталья Николаевна - ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473)243-76-95

Овсянников Сергей Викторович - ВГТУ, аспирант, тел. (473)243-76-95

лентной зоны диоксида олова в зону проводимости, что соответствует собственной фотопроводимости. После выключения светодиода наблюдается медленное возрастание сопротивления до значений, превышающих исходные (рис. 1, а), что характерно для биполярной рекомбинации с участием глубоких ловушек [7]. Длительная релаксация электросопротивления поликристаллической пленки диоксида олова после ее освещения УФ-лампой была замечена ранее и названа «эффектом памяти» [2]. Таким образом, на образцах, освещенных излучением фиолетового светодиода, проявляется «эффект памяти».

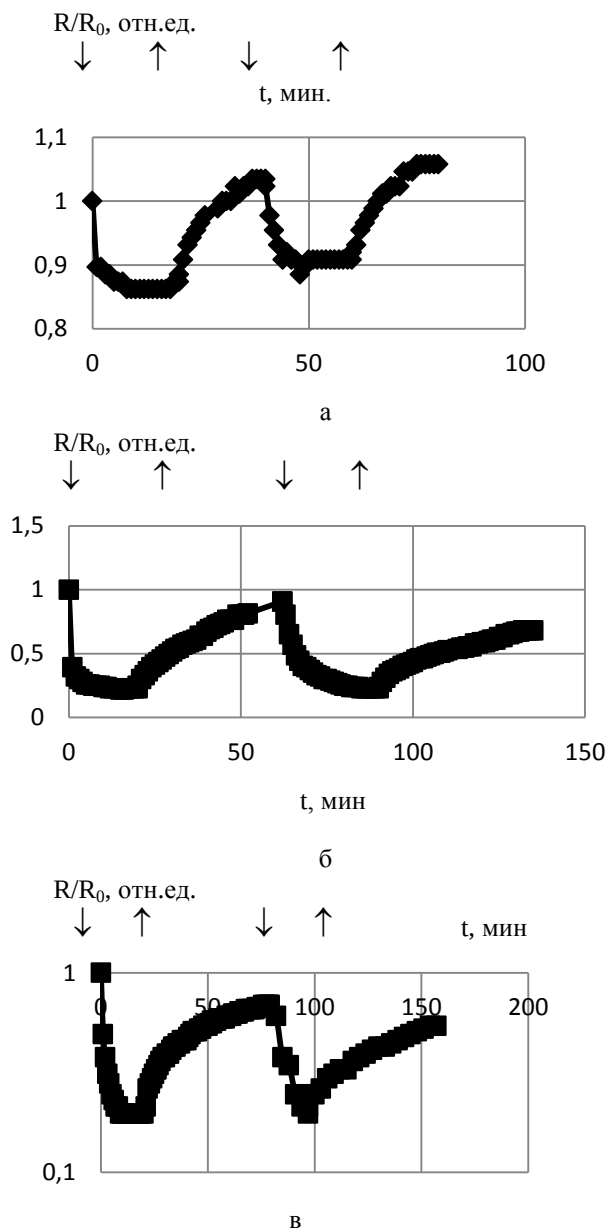


Рис. 1. Влияние фиолетового ($\lambda = 407$ нм) (а), синего ($\lambda = 458$ нм) (б) и зеленого ($\lambda = 526$ нм) излучения на сопротивление сенсорных элементов при комнатной температуре: $\downarrow$ - включение светодиода, $\uparrow$ - выключение светодиода

Характер изменения сопротивлений сенсорных элементов под действием синего и зеленого излучения отличается от эффектов воздействия

фиолетового излучения из-за различных механизмов генерации неравновесных носителей заряда.

При воздействии синего и зеленого излучения после включения светодиода сопротивление сенсора уменьшается и достигает некоторого стационарного значения. После выключения светодиода наблюдается медленное возрастание сопротивления до значений меньших исходных (рис. 1, б, в).

Так как энергия синего света близка к ширине запрещенной зоны, а зеленого излучения - меньше ширины запрещенной зоны SnO_2 , то это может быть следствием монополярной генерации неравновесных носителей зарядов [7] с участием примесных уровней на поверхности и в объеме полупроводника. Ранее [8], было установлено, что в монокристаллах SnO_2 имеется большой набор мелких и глубоких энергетических уровней, обусловленных многозарядными вакансиями кислорода и другими дефектами, с расстоянием от дна зоны проводимости 0,21; 0,52; 0,6; 1; 1,3 и 1,8 эВ. В пленках SnO_2 концентрация этих дефектов может достигать значений порядка $10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и ряд этих уровней в n- SnO_2 может участвовать в процессах фотопроводимости и релаксации неравновесных носителей заряда. В частности, фиолетовый, синий и зеленый свет могут создавать неравновесные носители зарядов за счет ионизации глубоких уровней на поверхности и в объеме SnO_2 .

Было исследовано влияние излучения мало-мощных светодиодов на газовую чувствительность датчиков газов к парам различных веществ в воздухе. На рис. 2 представлены температурные зависимости газовой чувствительности к парам этилового спирта в воздухе без освещения (1) и при оптическом воздействии фиолетового излучения (2).

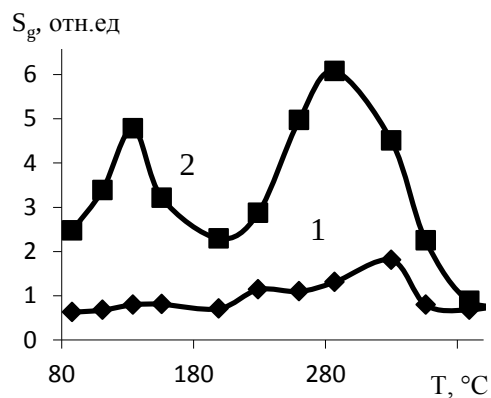


Рис. 2. Температурная зависимость газовой чувствительности к парам этилового спирта (1700 ppm) в воздухе без освещения (1) и при освещении фиолетовым излучением (2)

Обнаружено, что максимальная газовая чувствительность к парам этилового спирта в воздухе (1700 ppm) без освещения наблюдается при температуре около 300 - 330 °C.

При облучении датчика газов фиолетовым излучением температура максимальной газовой чувствительности снижается до 290 °C, а величина газовой чувствительности увеличивается почти в

Зраза. Облучение фиолетовым светодиодом приводит к появлению дополнительного пика газовой чувствительности при температуре 130 °С.

Таким образом, фиолетовый свет приводит к усилению основного механизма газовой чувствительности SnO_2 , обусловленного модуляцией высоты межзеренных барьеров, и к появлению нового низкотемпературного механизма взаимодействия поверхности полупроводника с молекулами газа.

Во избежание влияния «эффекта памяти» на результаты эксперимента воздействие излучения синего и зеленого светодиодов исследовалось на других датчиках.

При освещении синим излучением величина максимальной газовой чувствительности увеличивается в 3,5 раза (рис. 3) без изменения температуры. Кроме того, при воздействии синего излучения, в области более низких температур, около 50 °С, возникает дополнительный пик газовой чувствительности по величине превосходящий чувствительность датчика к соответствующему газу без освещения.

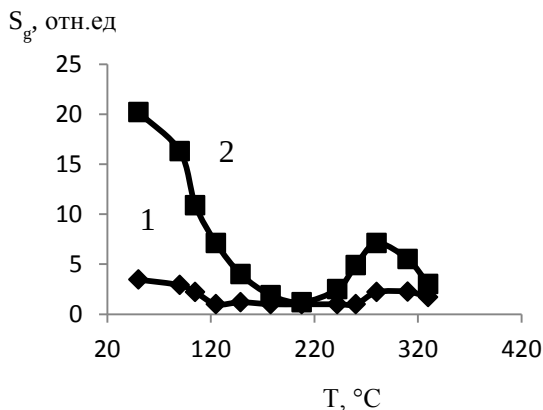


Рис. 3. Зависимость газовой чувствительности к парам этилового спирта (2000 ppm) в воздухе без освещения (1) и при освещении синим излучением (2) от напряжения на нагревателе

При освещении зеленым излучением (2) и без освещения (1) температурная зависимость газовой чувствительности к парам этилового спирта (2000 ppm) в воздухе представлена на рис. 4.

При освещении зеленым излучением величина максимальной газовой чувствительности при температуре около 330 °С практически не изменяется. Однако при воздействии зеленого излучения в области температур порядка 100 °С появляется дополнительный пик газовой чувствительности практически совпадающий по величине с чувствительностью датчика без освещения. Новый пик газовой чувствительности может быть обусловлен взаимодействием зеленого света с энергетическими уровнями дефектов в SnO_2 .

S_g , отн.ед

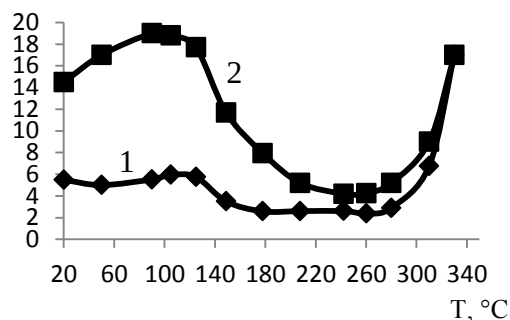


Рис. 4. Температурная зависимость газовой чувствительности к парам этилового спирта (2000 ppm) в воздухе без освещения (1) и при освещении зеленым излучением (2)

Таким образом, при воздействии излучения фиолетовых, синих и зеленых светодиодов, в области температур меньших рабочих температур датчика появляется дополнительный пик газовой чувствительности по величине сравнимый или превосходящий чувствительность датчика к соответствующему газу без освещения. Появление дополнительного пика газовой чувствительности указывает на то, что под действием оптического излучения светодиодов возникают новые механизмы газовой чувствительности, отсутствующие в неосвещенных образцах. К таким механизмам можно отнести взаимодействие света непосредственно с заряженными поверхностными состояниями и их активация, а также взаимодействия с молекулами контролируемых газов. При этом температура максимальной чувствительности датчика газов к этиловому спирту оказывается в 2 – 3 раза ниже температуры максимальной чувствительности к тому же газу, но при отсутствии воздействия излучения на поверхность датчика.

Воздействие излучения фиолетового и синего светодиода увеличивает газовую чувствительность к парам этилового спирта в 3 раза без изменения рабочей температуры датчика. При освещении полупроводника SnO_2 светом с энергией, большей ширины запрещенной зоны, в объеме полупроводника генерируются электронно-дырочные пары. За счет искривления зон у поверхности происходит разделение зарядов в области обеднения: дырки движутся к поверхности, а электроны переходят вглубь кристалла, увеличивая тем самым общую концентрацию свободных носителей заряда и понижая высоту межкуристаллитных потенциальных барьеров и объемное сопротивление полупроводника. Неравновесные дырки, взаимодействуя с поверхностными состояниями, также понижают величину межкуристаллитных потенциальных барьеров. Так как общепринятый механизм газовой чувствительности диоксида олова [1] также приводит к понижению высоты межзеренных потенциальных барьеров, то фиолетовый и синий свет увеличивает высокотемпературный пик газовой чувствительности (рис. 2, 3). Использование светодиодов с энергией, превышающей или сравнимой с шириной запрещенной зоны диоксида олова,

позволяет существенно увеличить газовую чувствительность датчика в области рабочих температур.

Кроме того, освещение датчика газов на основе металлооксидных полупроводников излучением светодиодов фиолетового, синего и зеленого цвета приводит к появлению низкотемпературного пика газовой чувствительности и снижает обычно высокую рабочую температуру датчика газов, тем самым значительно расширяя область его применимости и снижая энергопотребление датчика.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания министерства науки и образования грант № 3.574.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы в сфере научной деятельности.

Литература

1. Тутов, Е. А. Твердотельные сенсорные структуры на кремнии [Текст] / Е.А. Тутов, С.В. Рябцев, А.В. Шапошник, Э.П. Домашевская. – Воронеж: ВГУ, 2010. – 231 с.
2. Comini, E. UV light activations of tin oxide thin films for NO₂ sensing at low temperature [Текст] / E. Comini, G.

Faglia, G. Sberverglieri // Sensors And Actuators B Chemical. - 2001. –Vol. 78. – P. 73-77.

3. Гуляев, А.М. О воздействии оптического излучения на чувствительность газовых сенсоров на основе пленок SnO_{2-x} [Текст] / А.М. Гуляев, Ле Ван Ван, О.Б. Сарач, О.Б. Мухина // Физика и техника полупроводников. - 2008. -Т. 42.- Вып. 6.- С. 742 - 746.

4. Рембеза, С.И. Особенности конструкции и технологии изготовления тонкопленочных металлооксидных интегральных сенсоров газов [Текст] / С.И. Рембеза, Д.Б. Просвирин, О.Г. Викин, Г.А. Викин, В.А. Буслов, Д.Ю. Куликов // Сенсор. - 2004. – №1 – С. 20 – 26.

5. Watson, J. The tin dioxide gas sensor [Текст] / J.Watson, K.Ihokura, G.S.V.Colest // Meas. Sci. Technol. - 1993. - № 4. - P. 717 – 719.

6. Русских, Д.В. Релаксация оптически стимулированного электросопротивления тонких пленок SnO₂ [Текст] / Д.В. Русских, С.И. Рембеза // Физика и техника полупроводников. - 2009. -Т. 43.- Вып. 6.- С. 811 - 815.

7. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Текст] / К.В. Шалимова. - СПб.: Лань, 2010. - 400 с.

8. Аверин, И.А. Моделирование процессов газочувствительности полупроводниковых сетчатых композитов на основе SiO₂-SnO₂ [Текст] / И.А. Аверин, А.А. Карманов, И.А. Пронин // Надежность и качество. - 2012. - № 1. - С. 214 - 216.

Воронежский государственный технический университет

MECHANISMS OF OPTICAL ACTIVATION OF ADSORPTION PROCESSES ON THE SnO₂ FILM SURFACES INVESTIGATION

S.I. Rembeza, T.V. Svistova, E.S. Rembeza, N.N. Kosheleva, S.V. Ovsyannikov

The influence of low power LED (~75 mW) violet, blue and green color was investigated on electrical resistance and gas sensitivity of SnO₂ films of gas sensor test structures. Details of resistance variation under switch on and switch-off light were studied. It was obtained that optical activation of SnO₂ surface increase gas sensitivity and create a new low temperature gas sensitive peak

Key words: gas sensors, sensitivity, light diode, light stimulation

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБКИ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛИЗАЦИИ

А.В. Муравьев, И.Л. Батаронов

В статье рассмотрен процесс образования отложений на внутренней стенке теплообменной трубки. Рассчитана математическая модель переноса частиц теплоносителя, с учетом роста, слияния, осаждения и уноса частиц в потоке

Ключевые слова: турбулизация, отложения, карбонат кальция, отложения, осадок, интенсификация

ВВЕДЕНИЕ. УРАВНЕНИЯ МОДЕЛИ

Для расчета математической модели необходимо учесть факторы, которые влияют на процессы: давление, фазовое состояние среды, температура, содержание солей, pH, дисперсность среды, геометрические размеры, скорость теплоносителя, материал, форма и поверхность теплообмена [1].

В воде содержатся различные микроорганизмы, дисперсные и коллоидные частицы, оксиды металлов, кристаллы и ионы солей, которые попадают в водный бассейн от сезонных изменений и природных условий.

Опытные данные показывают, что качество рабочей среды влияет на процесс образования отложений. Доказано, что ощутимое влияние на процесс образования отложений влияют [2, 3]: солесодержание, содержание в воде Ca и кислотно-щелочной баланс pH (Рис. 1.9).

Данные по экспериментам показывают, что с изменением баланса и увеличением pH раствора растворимость газа уменьшается [4]. Так же влияние баланса pH практически равнозначно с влиянием температуры на процесс.

В результате процесса образования отложений образуются частицы различных размеров от 0,01 до 50 мкм. [5], с учетом этого необходимо учесть частицы по их размерам и распределению для создания правильной модели осаждения.

Основной из движимых сил роста кристаллов в объеме является разность химических потенциалов в кристалле и вещества в растворе. Химического потенциал и его превышение в растворённом веществе μ над химическим потенциалом вещества в равновесном растворе μ_0 выражается выражением [6]:

$$\Delta\mu = \mu - \mu_0 = kT \ln(S + 1),$$

где S - пересыщение раствора.

В точки зрения молекулярной химии кристалл является структурной единицей равной одной молекулы вещества, таким образом пересыщение раствора может быть получено из уравнения:

$$S = \frac{C}{C_0}, \quad (1)$$

где C_0 - концентрация карбоната кальция $CaCO_3$.

При росте ионных кристаллов надо учитывать, что ионы, находящиеся в растворе могут находиться в различных концентрациях, входящие в состав кристалла, (наличием ионов).

Получим, по Рашковичу [7-8] пересыщение по формуле:

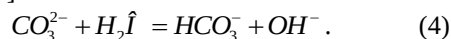
$$S = (C_+ C_- / P_S)^{1/2} - 1, \quad (2)$$

где C_+ - концентрация катионов, C_- - концентрация анионов, $P_S = C_{+0} C_{-0}$ - растворимость, C_{+0} - концентрация катионов в равновесии, C_{-0} - концентрация анионов в равновесии. В случае $C_{+0} = C_{-0} = C$ формула (2) тождественно формуле (1). Формула (2) подходит для особо разбавленного раствора, в обратном случае, для концентрированного раствора, справедливо уравнение:

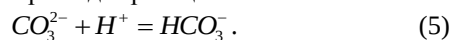
$$S = f(C_+ C_- / P_S)^{1/2} - 1, \quad (3)$$

где f - коэффициент активности.

Величина $S(T)$ зависит от pH раствора и концентрации растворенного CO_2 в растворе. Тогда растворимость карбоната кальция $CaCO_3$ происходит следующим двум процессам. В первом случае в щелочных и нейтральных средах анионы CO_3^{2-} взаимодействуя с водой, образуют гидрокарбонат-ионы [9]:



Из этого следует, что увеличение щелочности, то есть концентрации $[OH^-]$, происходит уменьшение растворимости $CaCO_3$, а в другой стороны, в кислых растворах идет реакция:



Из этого следует, что увеличение концентрации $[H^+]$ приводит к образованию гидрокарбоната HCO_3^- , увеличению $CaCO_3$ и его растворимости.

В нашей системе, где отсутствует обмен с атмосферой, концентрация CO_3 может изменяться

благодаря получению кристаллов кальция т.е. Ca^{2+} . Тогда, $C_- = C_+$, данное соотношение к формуле пересыщения (1).

Пересыщение раствора приводит к формированию и зарождению кристаллов $CaCO_3$ в форме кальцита и аргонита [10].

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ

Скорость образования кристаллов сильно зависит от температуры раствора. Процесс зарождения осуществляется по гетерогенному механизму в активных центрах, то для интенсивности запишем:

$$I = (S-1) \nu N_c e^{-\frac{W_g}{RT}}. \quad (6)$$

где N_c - активные центры концентрации;

ν - фактор учитывающий частоту;

W_g - активация зарождения;

S - пересыщение.

Далее происходит то, что активные центры существенно изменяются в процессе зарождения, а так же меняется их концентрация.

РОСТ КРИСТАЛЛОВ

Рост кристалла зависит от линейной энергии и движением атома [11]:

$$\alpha_l = \frac{w - kT}{a} \ln \frac{1 + \eta_l}{1 - \eta_l}, \quad (7)$$

где $\eta_l = \exp(-w/kT)$,

w - энергия в виде связи кристалла с окружением.

Энергия ступени α_l уменьшается с повышением температуры [11] и убывает в нуль при температуре T_R , что соответствует $\eta_l = \sqrt{2} - 1$, следовательно приводит к $w/kT_R = 0,88$. При $T > T_R$ рост ступени на поверхности кристалла нет; тогда происходит обычный рост кристалла. Тогда при $T < T_R$ на гранях кристалла имеются шероховатые ступени и таким образом рост кристаллов происходит по линии движения ступеней. Объективная оценка энергии связи w определяется выражением $w = \Delta H / Z_1$,

где ΔH - энтальпия кристаллической решетки, Z_1 - число координаты. Тогда определяется шероховатость граней кристалла: если $\Delta H / kT < 2$, тогда поверхность кристалла будет шероховатой; в случае же $\Delta H / kT > 2$ поверхность кристалла будет гладкой. Для кристаллов значения ΔH порядок десятки электронвольт [12], а при работе теплоэнергетического оборудования имеет сотни кельвинов ($kT \approx 0,01 \text{ эВ}$), значение $\Delta H / kT \approx 1000$. Таким образом, грани кристаллов имеют ступенчатое строение [13-15].

В случае, когда механизм имеет послыйный рост, скорость роста можно записать [10]:

$$V = (S-1) V_0(T). \quad (8)$$

где $V_0(T) = K_0 e^{-\frac{W_0}{RT}}$;

K_0 - константа роста;

W_0 - энергия активации роста кристалла.

Данная формула не позволяет учитывать процесс снабжения вещества к кристаллу. В режиме турбулизации потока раствора диффузионная зона практически разрушается, только малая часть диффузионной зоны будет присутствовать у стенки трубы. Таким образом, она согласуется с изменением скорости роста $CaCO_3$ в зависимости от их размера, отсутствующим в формуле (8). Тогда считаем, что в области $r > R_1$ идет интенсивное перемешивание, и концентрация остается постоянно равной C_1 . В итоге запишем:

$$\begin{cases} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 \frac{\partial C}{\partial r} = 0; R_0 < r < R_1 \\ \tilde{N}(R_1) = \tilde{N}_1 \\ \left[\frac{D_0}{\rho} \frac{\partial C}{\partial r} (R_0) = V_0 \frac{C(R_0) - C_0}{C_0} = V(R_0) \right] \end{cases} \quad (9)$$

Здесь D_0 - коэффициент диффузии $CaCO_3$ в воде,

R_0 - текущий радиус кристалла,

ρ - концентрация $CaCO_3$ в кристалле.

Характеристика турбулентного потока $2R_1$ должна быть тождественна $\lambda_0 = D / \mathcal{Q}_*$, где $\mathcal{Q}_*$ - динамическая скорость [16].

Учитывая, что присутствует область вязкого подслоя у поверхности кристалла запишем:

$$R_1 = R_0 + \frac{\lambda_0}{2}.$$

решение задачи для зависимости $V(d)$

определяет:

$$V(d, C) = \frac{(S-1)V_0}{1 + Z \frac{d}{d + \lambda_0}}. \quad (10)$$

В данной формуле применим критериальный параметр $Z = \frac{V_0 \rho \lambda_0}{D_0 C_0}$, являющийся как соотношение

молекулярной и диффузионной скорости роста. Тогда $Z > 1$ диффузионный механизм в зоне питания является основным механизмом, скорости роста, если же $Z < 1$ механизм роста молекулярный, а зависимость имеет слабый спад, что в свою очередь влияет на общую скорость роста кристаллов.

СЛИЯНИЯ КРИСТАЛЛОВ В ПОТОКЕ РАСТВОРА

Важным моментом, влияющим на размеры исходных кристаллов, является слияние частиц при их росте и столкновении в объеме раствора. При этом за счет турбулизации происходит увеличение вероятности их слияния и соответственно к увеличению размера кристаллов. В данном случае согласно теореме умножения вероятности получим

$$P = P_0 C_{d1} C_{d2}. \quad (11)$$

где P - слияния частиц с диаметрами d_1 и d_2 ;

P_0 - множитель;

C_{d1} - концентрация частиц с диаметром d_1 ;

C_{d2} - концентрация частиц с диаметром d_2 .

Для частотного множителя P_0 используем газовый аналог для перемещения частиц в потоке в условиях турбулизации. Тогда частота соударений частиц с диаметром d_1 с частицами d_2 запишем

$$\nu_1 = \frac{\nu_{\pm}}{l_{\tilde{n}d}}, \quad (12)$$

Где $l_{\tilde{n}d}$ - длина свободного пробега, получаемая по формуле

$$l_{\tilde{n}d} = \frac{1}{\tilde{N}_{d2} \sigma \sqrt{2}}, \quad (13)$$

Здесь σ - эффективное сечение соударения:

$$\sigma = \frac{\pi}{4} (d_1 + d_2)^2. \quad (14)$$

В итоге $\nu_1 = \sqrt{2} \sigma \tilde{N}_{d2} \nu_{\pm}$

Число столкновений частиц с диаметром d_1 будет $\nu_1 \tilde{N}_{d1}$ в единицу времени, следовательно

$$P = \sqrt{2} \sigma \nu_{\pm} \tilde{N}_{d1} \tilde{N}_{d2}. \quad (15)$$

Сопоставляя формулу (15) с (4), тогда получим,

$$P_0 = \varepsilon \sqrt{2} \sigma \nu_{\pm}, \quad (16)$$

где ε - соударение частиц.

Появляющаяся в этом уравнении скорость частиц $\nu_{\pm}$ зависит от структуры и типа самого турбулентного движения потока. В турбулентном потоке, равным большим числам $Re > 10000$, принимаем $\nu_{\pm}$ равной средней абсолютной величины пульсаций в потоке потока. Тогда число турбулентности Tu [17] получим $\nu_{\pm} = Tu \cdot w$.

Получим

$$P = \frac{\sqrt{2} \pi}{4} \varepsilon Tu (d_1 + d_2)^2 w \tilde{N}_{d1} \tilde{N}_{d2}. \quad (17)$$

Нужно отметить, что скорость процесса возрастает по концентрации, тогда, уравнение становится нелинейным.

ОСАЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ И ФОРМИРОВАНИЕ ОСАДКА

Осаждение осадка в виде частиц происходит так, что часть оседает на стенках канала, а другая часть уносится потоком [19].

Интенсивное осаждение зависит от концентрации частиц и от их размеров. Скорость осаждения происходит при попадание частиц из потока в ламинарный подслей [7], то есть частицы попавшие в диффузионный ламинарный слой, но не зацепившиеся на поверхности будут уноситься. Таким образом, скорость образования осадка можно описать в виде процесса:

$$j = C_d \mathcal{G}_{\tilde{n}d} \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{d_0}\right)^3}, \quad (18)$$

где $d_0 \approx 0,1$ мкм, параметр эмпирический.

Зависимость от силы смыва частицы, запишем

$$F_{\tilde{n}d} = \tau_w d^2, \quad (19)$$

где $\tau_w = \frac{1}{8} \xi \rho W^2$ - динамические напряжения и

силы сцепления с поверхностью F_0 .

F_0 сила коагуляционных связей $\approx 10^{-10}$ Н. Таким образом, учитывая условия прикрепления, для вероятности соприкосновений запишем:

$$P = e^{-\frac{F_{\tilde{n}d}}{F_0}}. \quad (20)$$

В итоге, для скорости осаждения можем записать:

$$V_s = 4C_d \frac{\mathcal{G}_{\pm}}{D} \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{d_0}\right)^3} e^{-\frac{\tau_w d^2}{F_0}}. \quad (21)$$

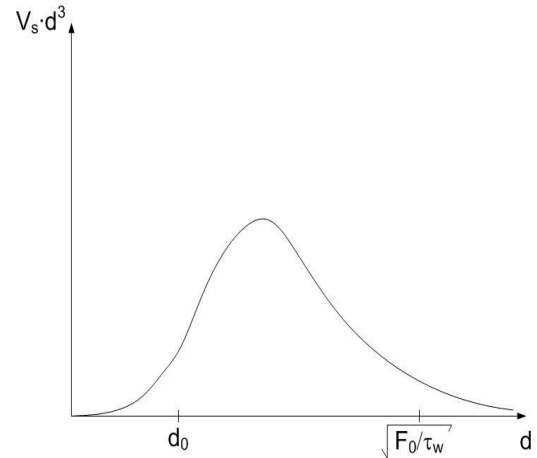
Данной скорости соответствует среднее время осаждения [18]:

$$\tau(d) = \frac{D \left(1 + \left(\frac{d}{d_0}\right)^3\right)}{4\mathcal{G}_{\pm}} e^{\frac{\tau_w d^2}{F_0}}. \quad (22)$$

Турбулентный поток и применение турбулизаторов оказывает динамическое напряжение τ_w . Для трубы с гладкой стенкой коэффициент сопротивления равен: $\xi = 0,184 Re^{-0,2}$ [19]. С использованием турбулизаторов коэффициент сопротивления увеличивается и определяется формулой Кармана: $\xi = \left(2 \lg \frac{D}{2h} + 1,74\right)^{-2}$,

где h - высота выступа турбулизатора.

Формула (22) описывает смыв частиц с диаметрами $d > 5$ мкм со скоростью потока ≈ 1 м/с. (рис.). Это соответствует общему представлению о процессах зарождения, слияния, осаждения и уноса частиц в виде осадка в потоке теплоносителя.



Скорость образования осадка от размера диаметра частиц по уравнению (21).

Литература

1. Муравьев, А. В. Влияние геометрических турбулизаторов на образование отложений в теплообменных аппаратах [Текст] / А. В. Муравьев, И. Г. Дроздов // Вестник Воронежского государственного технического университета. Том 3 №6 Серия «Энергетика». стр. 33-38. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2007–С.
2. НШ R. A. total capability in water treatment // Water services. 1984. vol. 88. No.1059. p. 178-179.
3. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные электростанции [Текст] / Л. С. Стерман учебник для вызов, 2-изд., испр. И доп.-М.: Энергоиздат, 1982. - 456с.
4. Балабан-Ирменин, Ю.В. Взаимосвязь между водно-химическом режимом, составом и структурой отложений на внутренней поверхности трубопроводной теплосети [Текст] / Ю. В. Балабан-Ирменин // Теплоэнергетика. 1998. №7 С. 43-47.
5. Закиров, С. Г. Комплексные исследования интенсивности теплообмена при однофазных и двухфазных теплоносителях [Текст] / С. Г. Закиров // Процессы и аппараты химических производств. - Ташкент, 1983. - С. 81-85.
6. Чернов, А. А., Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов [Текст] / А. А.Чернов, Е. И.Гивиргизов. – М.: Наука, 1980.-408 с.
7. Рашкович, Л. Н. Как растут кристаллы в растворе [Текст] / Л.Н. Рашкович// Соровский образовательный журнал, 1962. – 228 с.
8. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. [Текст] / Ю. Ю. Лурье – М.: Госхимиздат, 1962. - 288 с.
9. Киреев, В. А. Курс физ. химии. [Текст] / В. А. Киреев/ Изд. 3-е, М., "Химия", 1975г., 776 с.
10. Bedersen, K. Gynnar vissa rorledningsmaterial vidhaftning och tillvaxt av bak-terier I dricksvatten // Vatten. 1986. vol.42. №1 p.21-24.
11. Михельсон, М. Л. Расчет скорости кристаллизации накипеобразующих веществ при магнитной обработке воды. [Текст] / М. Л. Михельсон/. Очистка поверхностей нагрева теплоэнергетического оборудования. - М: Энергия, 1976. С. 103-108.
12. Rock, P. A. Gibbs energy of formation of dolomite from electrochemical cell measurements and theoretical calculation [Текст] / P. A. Rock / American Journal of Science, 301, 2001, №2, p. 103-111.
13. Freij, S. J Cristal growth and dissolution processes at the calcite – water interface in the presence of zinc ions [Текст] / S. J Freij, Godelitsas O. A., Putnis A. B / J, Cryst, Growth, 273, 2005, p. 535 – 545.
14. Paquette, J. Novel TEM approaches to imaging of microstructures in carbonates/ [Текст] / J. Paquette/: Clues to growth mechanism in calcite and dolomite // American Mineralogist, 84, 1999, p. 1939-1949.
15. De Giadici, G. Surface control vs. diffusion control during calcite dissolution/[Текст] / G/ De Giadici: Dependence of step-edge velocity upon solution pH // American Mineralogist, 87, 2002, p. 1279 – 1285.
16. Равделя, А. А. Краткий справочник физико-химических величин. / [Текст] / А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. Изд.8-е, перераб. Под. ред. - Л.: Химия, 1983.- 232 с.
17. Шлхтинг, Г. Теория пограничного слоя. / [Текст] / Г. Шлхтинг. М: Ил. 1956 г. 528 с.
18. Муравьев, А. В. Математическая модель процесса образования отложений в каналах теплообменников [Текст] / А. В. Муравьев, И. Л. Батаронов , И. Г Дроздов И.Г.// Вестник Воронежского государственного технического университета. Том 3 №8 стр. 16-22. Воронеж. гос. техн. ун-т, 2007–С.
19. Закиров, С. Г. Комплексные исследования интенсивности теплообмена при однофазных и двухфазных теплоносителях [Текст] / С. Г. Закиров. Процессы и аппараты химических производств. - Ташкент, 1983. - С. 81-85.

Воронежский государственный технический университет

MATHEMATICAL MODELLING OF FORMATION OF DEPOSITS ON THE HEATEXCHANGE SURFACE OF THE TUBE IN THE CONDITIONS OF TURBULIZATION

A.V. Muravev, I.L. Bataronov

In article process of formation of deposits on an internal wall of a heatexchange tube is considered. The mathematical model of a mass transfer of the dissolved particles from a stream on an internal surface, taking into account growth, merges, sedimentation and ablation of particles in a stream is considered

Keywords: turbulization, deposits, carbonate of calcium, adjournment, deposit, intensification

ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АСИМПТОТИКА ДЛЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА В ДИНАМИЧЕСКОМ СЛОЕ

А.П. Бырдин, А.А. Надеев, А.А. Сидоренко

Рассматривается тепло- и массообмен в псевдооживленном слое дисперсного материала с учётом его направленного перемещения. В предположении малости газосодержания слоя и безразмерного коэффициента сушки получены решения уравнений баланса масс и тепла в первом приближении по указанным параметрам. Решение модельных уравнений построено асимптотическим методом

Ключевые слова: псевдооживленный слой, тепло- и массообмен, асимптотические методы

1. Представленная работа продолжает цикл аналитических исследований классических моделей тепло- и массообмена между дисперсным материалом и оживляющим слой теплоносителем на базе асимптотических методов [1-3]. В указанных выше работах методами регулярной или сингулярной теории возмущений [4] изучались процессы обмена между дисперсной и непрерывной фазами либо кипящего слоя [1-2], либо динамического слоя с направленным движением материала [3]. При построении решений дифференциальных уравнений модели предполагалось наличие одного регулярного или сингулярного параметра, величина которого считалась малой относительно других безразмерных параметров, входящих в модельные уравнения процессов обмена. В качестве регулярных параметров возмущения рассматривались в безразмерной форме феноменологические параметры А.В. Лыкова [5] – скорость сушки (в первом периоде), либо коэффициент сушки (во втором периоде) процесса массообмена. В роли сингулярного возмущения в уравнениях модели выступал параметр газосодержания – отношение масс теплоносителя и материала в псевдооживленном слое.

В предлагаемой статье представлено решение системы дифференциальных уравнений, описывающих температуры твёрдой и газообразной фаз слоя, в том случае, когда имеется направленное движение твёрдой фазы и уравнения модели содержат и регулярное, и сингулярное возмущения.

Исходными модельными уравнениями для процессов обмена в динамическом слое приняты соотношения массового и энергетического балансов для дисперсной и непрерывной подсистем слоя [6], переформулированные в терминах теплоёмкостей фаз [3]. Таким образом, получаем следующую начальную задачу для системы векторных уравнений:

$$\hat{E}_\gamma \dot{\vec{C}}^*(\tau) = \hat{B} \vec{C}^*(\tau) + \vec{b}, \quad (1)$$

$$\hat{E}_\gamma \dot{\vec{C}}^*(\tau) \vec{\Theta}(\tau) = \hat{A}(\tau) \vec{\Theta}(\tau) + \vec{a}(\tau), \quad (2)$$

$$\vec{C}^*(0) = \vec{\Theta}(0) = colon(1, 1),$$

где $\tau = j(t - t_0)$, $j = G_2/M_1$, t – время наблюдения, с; t_0 – время начала второго периода сушки, с; $\gamma = M_2/M_1$ – газосодержание слоя;

$$\hat{E}_\gamma = diag(1, \gamma), \quad \hat{C}^*(\tau) = diag(C_1^*(\tau), C_2^*(\tau)),$$

$$\vec{C}^*(\tau) = colon(C_1^*(\tau), C_2^*(\tau)),$$

$$\vec{\Theta}^*(\tau) = colon(\Theta(\tau), \Theta(\tau)),$$

$$C_k^*(\tau) = \frac{C_k(\tau)}{c_{k0}}, \quad c_{k0} = C_k(0), \quad \Theta_k(\tau) = \frac{T_k(\tau)}{T_k(0)}, \quad (k = 1, 2),$$

$$C_1(\tau) = c_1 + c_{ж} w_1(\tau), \quad C_2(\tau) = c_2 + c_n w_2(\tau);$$

$$\hat{B} = \|b_{ij}\|, \quad (i, j = 1, 2), \quad b_{11} = -\beta, \quad b_{12} = 0,$$

$$b_{21} = -\beta_0 \frac{\delta_{нж}}{\delta_c}, \quad b_{22} = -1, \quad \vec{b} = colon(b_1, b_2), \quad (3)$$

$$b_1 = \beta_0 + fK_0 C_p^*, \quad b_2 = 1 - b_{21}; \quad \beta = \beta_0 + fK_0, \quad \beta_0 = \frac{G_1}{G_2},$$

$$f = \frac{S}{S_0}, \quad S_0 = \frac{G_2 C_{20}}{\alpha_{21}}, \quad K_0 = \frac{kc_{20}}{\alpha_{21}}, \quad \delta_c = \frac{c_{20}}{c_{10}}, \quad \delta_{нж} = \frac{c_n}{c_{ж}},$$

$$C_p^* = \frac{c_1 + c_{ж} w_{1p}}{c_{10}}; \quad \hat{A}(\tau) = \|a_{ij}(\tau)\|, \quad (i, j = 1, 2),$$

$$\vec{a}(\tau) = colon(a_1(\tau), a_2(\tau)), \quad a_{11}(\tau) = \beta_0 + \delta_c \dot{C}_1^*(\tau),$$

$$a_{21}(\tau) = \frac{\delta_c f + \beta_0 (1 - C_1^*(\tau))}{\delta_{21} \delta_c}, \quad a_{12}(\tau) = \delta_{21} \delta_c f,$$

$$a_{22}(\tau) = f + C_2^*(\tau), \quad a_1(\tau) = \beta_0 [1 - r_1 (1 - C_1^*(\tau))],$$

$$a_2(\tau) = 1 - (r_2 - 1) \frac{\delta_{нж}}{\delta_c} \beta_0 (1 - C_1^*(\tau)), \quad \delta_{21} = \frac{T_2(0)}{T_1(0)},$$

$$r_1 = \frac{r}{c_{ж} T_1(0)}, \quad r_2 = \frac{r}{c_n T_2(0)}.$$

Здесь c_1 , c_2 , $c_{ж}$, c_n – удельные теплоёмкости сухого материала, сухого газа, жидкости и пара, Дж/(кг К); $w_1(\tau)$, $w_2(\tau)$ – текущие значения влагосодержаний материала и газа, кг/кг; M_1 , M_2 – массы материала и газа в слое, кг; G_1 , G_2 – массовые рас-

Бырдин Аркадий Петрович – ВГТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент, тел. (473) 264-73-55

Надеев Александр Александрович – ВГТУ, канд. техн. наук, тел. (951) 548-88-18, e-mail: alekn85@mail.ru

Сидоренко Александр Алексеевич – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473) 254-54-75

ходы материала и газа, кг/с; w_{1p} - равновесное влагосодержание материала, кг/кг; $T_1(\tau)$, $T_2(\tau)$ - абсолютные температуры материала и теплоносителя в слое, К; S - суммарная площадь поверхности частиц материала, м²; r - удельная теплота парообразования, Дж/кг; k - коэффициент сушки, кг/(м² с); α_{21} - коэффициент теплообмена между материалом и теплоносителем, Вт/(м² К).

2. Система векторных дифференциальных уравнений (1) и (2) при малом газосодержании псевдоожигенного слоя и малом коэффициенте сушки является сингулярно возмущенной по γ системой уравнений. Используя асимптотический метод [4], решение уравнений построим в виде

$$\vec{C}^*(\tau) = \sum_{k=0}^N \sum_{m+n=k} \gamma^m \lambda^n \left(\vec{C}_{(m,n)}^*(\tau) + \vec{\pi}_{(m,n)}(s) \right), \quad (4)$$

$$\vec{\Theta}(\tau) = \sum_{k=0}^N \sum_{m+n=k} \gamma^m \lambda^n \left(\vec{\Theta}_{(m,n)}(\tau) + \vec{\Pi}_{(m,n)}(s) \right), \quad (5)$$

где

$$\vec{C}_{(m,n)}^*(\tau) = colon \left(C_{1(m,n)}^*(\tau), C_{2(m,n)}^*(\tau) \right), \quad (6)$$

$$\vec{\pi}_{(m,n)}(s) = colon \left(\pi_{1(m,n)}(s), \pi_{2(m,n)}(s) \right);$$

$$\vec{\Theta}_{(m,n)}(\tau) = colon \left(\Theta_{1(m,n)}(\tau), \Theta_{2(m,n)}(\tau) \right), \quad (7)$$

$$\vec{\Pi}_{(m,n)}(s) = colon \left(\Pi_{1(m,n)}(s), \Pi_{2(m,n)}(s) \right).$$

Здесь $\pi_{k(m,n)}(s)$, $\Pi_{k(m,n)}(s)$ - пограничные функции ($k = 1, 2$), а $s = \tau/\gamma$.

Поскольку дифференциальное уравнение для первого компонента вектора теплоёмкости в (1) не содержит параметр γ , то должны выполняться равенства

$$C_{1(m,n)}^*(\tau) = 0, \quad (m \neq 0); \quad \pi_{1(m,n)}(s) = 0, \quad (\text{любое } m, n).$$

Из соотношений (4), (6), (1) с помощью стандартной процедуры метода возмущений получим системы уравнений для основных и пограничных функций в (4). Для приведённой теплоёмкости дисперсного материала - первого компонента вектора теплоёмкостей, имеем:

$$\dot{C}_{1(0,n)}^*(\tau) + \beta_0 C_{1(0,n)}^*(\tau) = -C_{1(0,n-1)}^*(\tau) + \delta_{0n} \beta_0 + \delta_{1n} C_p^*, \quad (8)$$

$$C_{1(0,n)}^*(0) = \delta_{0n},$$

где δ_{ij} - символ Кронекера.

Уравнения, определяющие приведённую теплоёмкость газовой фазы, имеют вид:

$$C_{2(0,m)}^*(\tau) = -\beta_0 \frac{C_n^0}{C_{ж}^0} C_{1(0,m)}^*(\tau) + \delta_{0m} \left(1 + \beta_0 \frac{C_n^0}{C_{ж}^0} \right),$$

$$C_{2(0,m)}^*(0) = \delta_{0m}, \quad \frac{d\pi_{2(0,m)}(s)}{ds} = -\pi_{2(0,m)}(s), \quad (9)$$

$$\pi_{2(0,m)}(0) = \beta_0 \frac{C_n^0}{C_{ж}^0} C_{1(0,m)}^*(0), \quad (m = 0, 1, \dots);$$

$$C_{2(n,m)}^*(\tau) = -\dot{C}_{2(n-1,m)}^*(\tau), \quad (n = 0, 1, \dots),$$

$$\frac{d\pi_{2(n,m)}(s)}{ds} = -\pi_{2(n,m)}(s), \quad \pi_{2(n,m)}(0) = \dot{C}_{2(n-1,m)}^*(0). \quad (10)$$

Ограничившись аппроксимацией второго порядка по параметрам γ , λ , из уравнений (9)-(10) получим следующие уравнения для приведённых теплоёмкостей материала и теплоносителя:

$$C_1^*(\tau) \approx 1 - \frac{1 - C_p^*}{\beta_0} \left[\lambda \psi_0(\beta_0 \tau) - \frac{\lambda^2}{\beta_0} \psi_1(\beta_0 \tau) \right], \quad (11)$$

$$C_2^*(\tau) \approx 1 + \frac{\delta_{нж}(1 - C_p^*)}{\delta_c} \left[\lambda \psi_0(\beta_0 \tau) - \frac{\lambda^2}{\beta_0} \psi_1(\beta_0 \tau) + \right. \\ \left. + \gamma \lambda \beta_0 (\psi_0(\beta_0 \tau) - 1 + e^{-s}) \right], \quad (12)$$

где

$$\psi_0(\beta_0 \tau) = 1 - e^{-\beta_0 \tau}, \quad \psi_1(\beta_0 \tau) = 1 - e^{-\beta_0 \tau} (1 + \beta_0 \tau).$$

Из выражений (11) и (12) следует, что приближение к равновесным значениям теплоёмкостей дисперсной и непрерывной подсистем слоя характеризуется следующими релаксационными параметрами:

$$t_{\text{рел}}^{(1)} = \frac{M_1}{G_1}, \quad t_{\text{рел}}^{(2)} = \frac{M_2}{G_2}. \quad (13)$$

Решение, построенное в первом приближении, характеризуется только одним временем релаксации $t_{\text{рел}}^{(1)}$.

Из выражения для приведённой теплоёмкости (11) следует, что при продолжительности процесса сушки во втором периоде $t \square t_{\text{рел}}$ влагосодержание дисперсного материала определяется следующим приближённым уравнением:

$$w_1(t) \approx w_{1н} - \frac{kS}{G_1} (1 - C_p^*) \left(w_{1н} + \frac{c_1}{c_{ж}} \right),$$

где $w_{1н}$ - влагосодержание материала после завершения периода, протекающего с постоянной скоростью сушки.

3. Применим описанную выше процедуру к построению приближённого решения уравнения, описывающего эволюцию температур материала и теплоносителя в псевдоожигенном слое. Используя разложения (5), (7) и аналогичные разложения для элементов матрицы и свободных членов

$$a_{ij}(\tau) = a_{ij}^{(0)} + \lambda a_{ij}^{(1)}(\tau) + \dots, \quad a_{12} = a_{12}^{(0)};$$

$$a_i(\tau) = a_i^{(0)} + \lambda a_i^{(1)}(\tau)$$

из уравнений для температур подсистем слоя (2) получим совокупность систем дифференциальных уравнений для функциональных коэффициентов в разложениях (5). В решениях температурных уравнений ограничимся первыми приближениями по параметрам λ и γ .

В нулевом приближении по параметрам получаем вырожденную систему вида

$$C_{1(0,0)}^* \dot{\Theta}_{1(0,0)}(\tau) = \sum_{n=1}^2 (-1)^n a_{1n}^{(0)} \Theta_{n(0,0)}(\tau) + a_1^{(0)}, \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^2 (-1)^n a_{2n}^{(0)} \Theta_{n(0,0)}(\tau) = a_2^{(0)},$$

$$C_{1(0,0)}^* \frac{d}{ds} \Pi_{1(0,0)}(s) = 0,$$

$$C_{2(0,0)}^* \frac{d}{ds} \Pi_{2(0,0)}(s) = \sum_{n=1}^2 (-1)^{n+1} a_{2n}^{(0)} \Pi_{n(0,0)}(s), \quad (15)$$

$$(n=1, 2);$$

$$\Theta_{n(0,0)}(0) + \Pi_{n(0,0)}(0) = 1, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} \Pi_{n(0,0)}(s) = 0, \quad (16)$$

$$(n=1, 2).$$

Последнее условие – убывание пограничных функций при росте s , гарантирует однозначность их определения.

Решение системы уравнений (14)-(16) имеет вид:

$$\Theta_{1(0,0)}(\tau) = 1 + \left(\frac{\Delta_0^*}{\Delta_0} - 1 \right) \psi_0(\beta^* \tau), \quad \beta^* = \frac{\Delta_0}{1+f},$$

$$\Theta_{2(0,0)}(\tau) = \frac{1}{1+f} \left[1 + \frac{f}{\delta_{21}} \Theta_{1(0,0)}(\tau) \right], \quad (17)$$

$$\Pi_{1(0,0)}(s) = 0, \quad \Pi_{1(0,0)}(s) = \frac{(\delta_{21}-1)f}{\delta_{21}(1+f)} e^{-(1+f)s},$$

где $\Delta_0 = \beta_0(1+f) + \delta_c f$, $\Delta_0^* = \Delta_0 + (\delta_{21}-1)\delta_c f$, и при получении выражений (17) использовались формулы для элементов матрицы $\hat{A}$ в (3).

Перейдём к построению уравнений и решений следующего приближения. Из уравнения системы (2) и разложений (5) температур подсистем слоя $\Theta_1(\tau)$ и $\Theta_2(\tau)$, выполнив стандартные процедуры отделения коэффициентов при λ и γ для функций от τ и s отдельно, получим дифференциальные уравнения первого приближения.

Для членов разложения, содержащих параметр λ , имеем:

$$\sum_{k+m=1} C_{1(0,k)}^*(\tau) \dot{\Theta}_{1(0,m)}(\tau) = \sum_{n=1}^2 (-1)^{n+1} a_{2n}^{(0)} \Theta_{n(0,1)}(\tau) -$$

$$-a_{11}^{(1)}(\tau) \Theta_{1(0,0)}(\tau) + a_1^{(1)}(\tau),$$

$$\sum_{k+m=1}^2 \sum_{n=1}^2 (-1)^n a_{2n}^{(k)} \Theta_{n(0,m)}(\tau) = a_2^{(2)}(\tau),$$

$$\sum_{k+m=1} C_{1(0,k)}^{*(0)}(s) \frac{d}{ds} \Pi_{1(0,m)}(s) = 0, \quad (18)$$

$$\sum_{k+m=1} \left[C_{2(0,k)}^{*(0)}(s) \frac{d}{ds} \Pi_{2(0,m)}(s) + \right.$$

$$\left. + \sum_{m=1}^2 (-1)^n a_{2n}^{(0,k)}(s) \Pi_{n(0,m)}(s) \right] = 0,$$

$$\Theta_{n(0,1)}(0) + \Pi_{n(0,1)}(0) = 0, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} \Pi_{n(0,1)}(s) = 0,$$

$$(n=1, 2),$$

где верхний индекс «0» в символах теплоёмкостей обозначает коэффициент при γ^0 в разложениях $C_{n(0,k)}^*(\gamma, s)$ по степени γ , второй верхний индекс в коэффициентах a_{2n} обозначает соответствующий член разложения этих функций при γ^k .

Система уравнений для функций первого приближения по параметру γ имеет вид:

$$C_{1(0,0)}^* \dot{\Theta}_{1(1,0)}(\tau) = \sum_{n=1}^2 (-1)^n a_{1n}^{(0)} \Theta_{n(1,0)}(\tau),$$

$$C_{2(0,0)}^* \dot{\Theta}_{2(1,0)}(\tau) = \sum_{n=1}^2 (-1)^{n+1} a_{2n}^{(0)} \Theta_{n(1,0)}(\tau),$$

$$\frac{d}{ds} \Pi_{k(1,0)}(s) = \sum_{n=1}^2 (-1)^{n+k+1} a_{kn}^{(0)} \Pi_{n(k-1,0)}(s), \quad (19)$$

$$\Theta_{n(1,0)}(0) + \Pi_{n(1,0)}(0) = 0, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} \Pi_{n(1,0)}(s) = 0,$$

$$(n=1, 2).$$

Решение системы уравнений для первых приближений к решению температурных уравнений по регулярному параметру (18) имеет вид:

$$\Theta_{1(0,1)}(\tau) = \frac{1-C_p^*}{\Delta_0} \left\{ \frac{f^*}{\beta_0} [p_{11}\beta_0\tau - p_{12}\psi_0(\beta_0\tau)] e^{-\beta^*\tau} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\delta_c f} [p_{13}\psi_0(\beta^*\tau) - p_{14}\psi_0(\beta_0\tau)] \right\},$$

$$\Theta_{2(0,1)}(\tau) = \frac{1}{\delta_{21}(1+f)} \left\{ f \Theta_{1(0,1)}(\tau) + \frac{1-C_p^*}{\delta_c} \times \right.$$

$$\left. \times [\Theta_{1(0,0)}(\tau) - \delta_{21}\delta_{n\text{жс}}(\Theta_{2(0,0)}(\tau) + r_2 - 1)] \psi_0(\beta_0\tau) \right\},$$

$$\Pi_{1(0,1)}(s) = \Pi_{2(0,1)}(s) = 0.$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$f^* = \frac{(\delta_{21}-1)\delta_c f}{1+f}; \quad p_{11} = 1 + \frac{\delta_c f}{\beta_0} + \frac{f^2}{\delta_{21}(1+f)};$$

$$p_{12} = 1 + f + p_{11};$$

$$p_{13} = r^* \beta_0(1+f) + \frac{\beta_0 f}{\Delta_0} + \Delta_0^* \left(1 + \frac{\delta_c f^2}{\Delta_0} \right); \quad (21)$$

$$p_{14} = \beta^* + \frac{f \Delta_0^*}{\delta_{21}(1+f)} + \frac{r^* \Delta_0 + \Delta_0^*}{f};$$

$$r^* = r_1(1+f) + (r_2 - 1)\delta_{n\text{жс}}\delta_{21}f.$$

Решение системы уравнений, описывающих первое приближение к температурам материала и теплоносителя по сингулярному параметру γ , можно представить в виде:

$$\Theta_{1(1,0)}(\tau) = \frac{ff^*}{1+f} \left(1 - \frac{\delta_c f}{1+f} \tau \right) e^{-\beta^*\tau},$$

$$\Theta_{2(1,0)}(\tau) = \frac{ff^*}{\delta_{21}(1+f)^2} \left(f - 1 - \frac{\delta_c f^2}{1+f} \tau \right) e^{-\beta^*\tau}, \quad (22)$$

$$\Pi_{1(1,0)}(s) = -\frac{ff^*}{1+f} e^{-(1+f)s},$$

$$\Pi_{2(1,0)}(s) = -\frac{ff^*}{\delta_{21}(1+f)^2} \left(\frac{f-1}{1+f} + fs \right) e^{-(1+f)s}.$$

Соотношения (5) и (7) при $N=1$ совместно с выражениями (17), (20) и (22) определяют температуры материала и теплоносителя в первом приближении по параметрам λ и γ .

Приведённые выше формулы показывают, что процесс приближения температур дисперсной и непрерывной подсистем псевдооживленного слоя к равновесным значениям характеризуется рядом временных масштабов. Этапы перехода к тепловому равновесию для этих подсистем, помимо указанных времён релаксации $t_{\text{рел}}^{(1)}$ и $t_{\text{рел}}^{(2)}$, определяется также следующими величинами:

$$\begin{aligned} t_{\text{рел}}^{(3)} &= \frac{t_{\text{рел}}^{(1)}}{1+f^*}, \quad t_{\text{рел}}^{(4)} = \frac{t_{\text{рел}}^{(2)}}{1+f}, \\ t_{\text{рел}}^{(5)} &= \frac{t_{\text{рел}}^{(1)}}{2+f^{**}}, \quad f^{**} = \frac{\delta_c f}{\beta_0(1+f)}. \end{aligned} \quad (23)$$

Отметим, что главные члены приближённых решений (17) температурных уравнений характеризуются двумя параметрами релаксации $t_{\text{рел}}^{(3)}$ и $t_{\text{рел}}^{(4)}$. Поправочные члены решений содержат весь спектр времён релаксации – от $t_{\text{рел}}^{(1)}$ до $t_{\text{рел}}^{(5)}$.

При продолжительности процесса сушки материала, значительно превышающей величины времён релаксации, главные члены выражений для температур материала и теплоносителя в слое приближаются к следующим предельным значениям:

$$\begin{aligned} T_{1(0,0)}(t) &\rightarrow T_{1(0,0)}^{(n)} = T_1(0) \left(1 + \frac{f^*}{\beta_0(1+f^{**})} \right), \\ T_{2(0,0)}(t) &\rightarrow T_{2(0,0)}^{(n)} = \frac{1}{1+f} \left(T_2(0) + f T_{1(0,0)}^{(n)} \right). \end{aligned}$$

Формулы (23) для времён релаксации температур материала и теплоносителя показывают, что процесс приближения температур к равновесным

значениям протекает с большей скоростью, чем приближение к предельным значениям влагосодержаний фаз слоя, что может оказаться существенным при сушке термочувствительных материалов.

Литература

1. Агапов, Ю. Н. Термокинетика динамического слоя в начальных стадиях тепловой релаксации [Текст] / Ю. Н. Агапов, А. П. Бырдин, В. И. Лукьяненко, В. Г. Стогней // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2007.- Т. 3. - № 6. - С. 27-32.
2. Бырдин, А. П. Кинетика теплообмена в кипящем слое в стадии прогрева материала [Текст] / А. П. Бырдин, А. А. Сидоренко, В. Г. Стогней // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011.- Т. 7. - № 11.1. - С. 122-125.
3. Бараков, А. В. Температуры фаз динамического слоя во втором периоде сушки в заданном диапазоне регулируемых параметров / А. В. Бараков, А. П. Бырдин, А. А. Надеев // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 6. - С. 97-100.
4. Васильева, А. В. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений [Текст] / А. В. Васильева, В. Ф. Бутузов. - М.: Наука, 1973. - 272 с.
5. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1968. - 472 с.
6. Баумштейн, И. П. Исследование сушильных установок с помощью математического моделирования [Текст] / И. П. Баумштейн, А. В. Лыков, М. И. Людмирский, Ю. А. Майзель // Тепло- и массоперенос в процессе сушки и термообработки: сб. ст. - Минск: Наука и техника, 1970. - С. 53-79.

Воронежский государственный технический университет

TWO-PARAMETER ASYMPTOTICS FOR THE MODEL OF EXCHANGE PROCESSES IN DYNAMIC LAYER

A.P. Byrdin, A.A. Nadeyev, A.A. Sidorenko

This article discusses the heat and mass transfer in a fluidized bed of loose material in view of its directional movement. Assumed that the gas content of the layer and coefficient of drying are small. Solutions of the balance equations of mass and heat in a first approximation on the specified parameters have been obtained. Solution of the model equations obtained using asymptotic methods

Key words: fluidized bed, heat and mass transfer, asymptotic methods