



### СОДЕРЖАНИЕ

#### РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Немов А. В. Защита от радиопомех авиационной аппаратуры ГНСС гражданского назначения..... 3

#### ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Шейнман И. Л., Канарейкин А. Д. Определение параметров фокусирующей системы на основе анализа поперечной динамики пучка в диэлектрическом кильватерном ускорителе..... 10

Грязнов А. Ю. Математическая модель формирования фазоконтрастного рентгеновского изображения..... 14

#### ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Зорин К. М. Модель и методика реконфигурации логической структуры интегрированного объекта информатизации..... 20

Никитин А. В., Ндайонгеже Д. Свойство-ориентированные языки функциональных спецификаций для концептуального этапа проектирования..... 25

Шмидт В. К., Горбачев Ф. Ф., Кудрявцев А. С. Метод проектирования систем отображения и наблюдения..... 30

Быков В. В., Герасимов И. В. Нечеткие математические модели на концептуальном этапе проектирования наукоемких объектов машиностроения..... 34

Горячев А. В. Подсистема управления проектами в САПР..... 41

Новакова Н. Е. Концептуализация описания сложноструктурированных предметных областей САПР..... 46

Матвеева И. В., Калмычков В. А. Рекурсивно-лексическая методика расстановки квантовых преобразователей для задач автоматизированного проектирования..... 52

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Микеров А. Г., Рубцова Е. А. Выбор моментных двигателей систем автоматического управления по их энергетическим и динамическим показателям..... 58

#### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Гончаров В. Д., Самсонов Д. С., Фискин Е. М. Исследование процессов в цепях питания устройств инициации разряда в рельсотронном ускорителе..... 70

#### ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аббакумов К. Е., Сидоренко И. Г., Таганов И. Н., Теплякова А. В. Ультразвуковые способы оценки структуры многослойных металлов..... 75

#### Редакционный совет

Пузанков Д. В. (председатель)

Кутузов В. М. (заместитель председателя)

Мейев В. А. (ответственный секретарь)

Малышев В. Н. («Радиоэлектроника и телекоммуникации»)

Соломонов А. В. («Физика твердого тела и электроника»)

Герасимов И. В. («Информатика, управление и компьютерные технологии»)

Путов В. В. («Автоматизация и управление»)

Прокофьев Г. И. («Электротехника»)

Филатов Ю. В. («Приборостроение и информационно-измерительные технологии»)

Попечителей Е. П. («Биотехнические системы в медицине и экологии»)

Степанов С. А. («Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент»)

Маркова О. Ю. («Гуманитарные науки»)

Вендик О. Г. («История науки, образования и техники»)

Лысенко Н. В. («Современные технологии в образовании»)

197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»  
тел.: 234-02-23

**Учредитель:**

Государственное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический  
университет "ЛЭТИ"  
им. В. И. Ульянова (Ленина)»  
197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-44-87  
Факс: (812) 346-27-58

**Свидетельство о регистрации**

ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.  
выдано Управлением Федеральной  
службы по надзору за соблюдением за-  
конодательства в сфере массовых ком-  
муникаций и охране культурного насле-  
дия по Северо-Западному федеральному  
округу

\*\*\*

Редакторы  
Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,  
И. Г. Скачек  
Комп. верстка:  
Е. Н. Паздниковой,  
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 16.06.10 г.  
Формат 6084 1/8.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура "Times New Roman".  
Печ. л. 16.  
Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)  
Заказ 40.

**Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

197376, Санкт-Петербург,  
ул. Проф. Попова, 5  
Тел.: (812) 346-45-23  
Факс: (812) 346-28-56

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

Попечителев Е. П., Болсунов К. Н. Биотехнические  
системы оценки уровня готовности к совместной  
работе малых групп операторов ..... 83

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

Кадацкая М. С. Проектирование модели межмодульных  
отношений образовательной программы ..... 93

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ  
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Рябинина Е. А., Яценко В. В. Метод  
непрерывного менеджмента процессов ..... 99

Малова О. Ю., Лашманова Н. В. Система управления  
интегрированными рисками в коммерческих банках ..... 105

**ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

Елькина Е. Е. Философский анализ современных тенденций  
развития инженерного знания и инженерных наук ..... 108

**ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ**

Филин В. А., Аббакумов К. Е. Сущность понятийного  
определения подводного звукового канала ..... 119

Сведения об авторах ..... 123

Правила представления рукописей авторами ..... 126

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 45821 ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ  
КАТАЛОГУ "ПРЕССА РОССИИ", ТОМ 1  
"ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ"**

Подписка производится в любом почтовом отделении России

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых на-  
учных журналов и изданий, в которых должны  
быть опубликованы основные научные результаты  
диссертаций на соискание ученых степеней доктора  
и кандидата наук (решение Президиума Высшей  
аттестационной комиссии Минобрнауки России  
от 19 февраля 2010 года № 6/6)



УДК 621.396.9

А. В. Немов

## ЗАЩИТА ОТ РАДИОПОМЕХ АВИАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ГНСС ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Приведены причины уязвимости к помехам и обоснован способ защиты от радиопомех аппаратуры авиационных гражданских потребителей глобальных спутниковых навигационных систем. Способ основан на адаптивном формировании «нулей» цифровой диаграммы направленности компактной бортовой антенной решетки в направлениях распространения сигналов от мощных точечных источников помех естественного и искусственного происхождения. Описаны экономные технические решения для кардинального повышения помехоустойчивости приема навигационной и служебной информации. Приведены достигаемые тактико-технические характеристики аппаратуры ответственных пользователей.*

**ГНСС, помехоустойчивость, адаптивная антенная решетка, авиационное оборудование, ответственный пользователь**

**Тактика использования спутниковых навигационных систем в гражданской авиации.** GPS и ГЛОНАСС [1], [2] в настоящее время являются действующими национальными глобальными системами спутниковой навигации (ГНСС), развернутыми Соединенными Штатами и Советским Союзом соответственно. Страны ЕС разрабатывают GALILEO. Первые 2 системы были созданы для военного применения и обеспечивают точные навигационные сигналы по существу в любой точке планеты. В настоящее время сигналы обеих систем в стандартном режиме, известные как гражданский сигнал ГНСС, доступны всем пользователям на постоянном всемирном базисе в течение неопределенного будущего, свободного от любого прямого взимания платы с пользователей.

Можно с уверенностью предполагать, что уже в ближайшее время система перевозок будет сориентирована на применение ГНСС. Предполагается, что ГНСС могут использоваться в качестве основной навигационной системы на трассах, в качестве основного средства внекатегорийной посадки, а также для посадки по 1-й и 2-й категориям ИКАО воздушных судов (ВС) гражданской авиации.

Однако по мере широкого распространения ГНСС стали очевидными существенные ограничения в части уязвимости сигнала ГНСС и оборудования провайдера/пользователя. Эти ограничения касаются вопросов точности, надежности, целостности, готовности и помехоустойчивости системы, и они изменили ранние представления относительно роли ГНСС в

национальных системах радионавигации. Были реализованы программы создания средств дополнений ГНСС, и достигнут определенный прогресс в части минимизации вышеуказанных ограничений.

Однако ГНСС остаются уязвимыми по отношению к неумышленным и преднамеренным радиопомехам, поскольку системные сигналы обладают весьма низким энергетическим потенциалом, т. е. малым запасом по отношению сигнал/шум на выходе линейной части приемника. Кроме того, частоты передачи ГНСС постоянны, а структура сигналов широко известна. При использовании существующей навигационной аппаратуры потребителя (НАП) сигналы ГНСС относительно легко подавить посредством передатчиков мощностью всего несколько ватт. Известны факты отказа гражданского навигационного оборудования из-за воздействия маломощных источников непреднамеренных помех (например, радиорелейные линии связи, системы спутникового телевидения, бортовые аварийные передатчики), а также применения постановщиков преднамеренных помех при проведении локальных военных операций в мирное время.

Возможность нарушения работы ГНСС в последние годы была признана. Сбои в работе спутникового навигационного оборудования могут привести к различным последствиям – от ограничения зоны обслуживания ГНСС, вызванного действиями источников помех, до катастрофических инцидентов, способных полностью выключить службу ГНСС в больших географических областях на значительный период времени.

Потеря сигнала ГНСС может вызвать следующие последствия:

- нарушение перевозок, что в свою очередь приводит к спаду экономики;
- ущерб окружающей среде;
- материальные потери;
- серьезные травмы или смерть людей;
- потеря доверия к транспорту и уменьшение прибыли поставщиков авиационной техники;
- ответственность поставщиков услуг за нарушения условий перевозок.

Несмотря на эти соображения, использование ГНСС при перевозках продолжится, потому что обеспечиваются уникальные возможности и эксплуатационные выгоды.

Предлагаемые меры и особенно те, что планируются в Российской Федерации [3], должны максимизировать выгоды от использования ГНСС при уменьшении рисков.

**Постановка задачи.** При использовании стандартной слабонаправленной антенны НАП с коэффициентом направленного действия около двух отношение сигнал/шум (для краткости обозначаемое с/ш) в полосе обработки гражданского сигнала колеблется от  $-31$  до  $-12$  дБ, если мощность системного сигнала в точке приема не меньше  $-131$  дБм. Пересчитанная к входу приемника мощность собственных шумов НАП обычно не превышает  $-100$  дБм. После корреляционной обработки в каналах общего доступа с/ш в полосе 10 Гц возрастает примерно на 60 дБ, т. е. до 29...48 дБ и выше. Запас по отношению помеха/шум (далее п/ш), при котором точность работы НАП сохраняется в допустимых пределах, в этих условиях для принимаемого сигнала мощностью  $-131$  дБм составляет не более 2 дБ.

Данный факт в сочетании с всенаправленным приемом стандартной антенны обуславливает крайне низкую помехоустойчивость и соответственно плохую электромагнитную совместимость приемника НАП.

Необходимо повысить помехоустойчивость НАП в целом на 40...48 дБ [3], чтобы обеспечить работоспособность при входящей до –50 дБм мощности помех.

Комплексирование с бортовыми инерциальными средствами навигации (ИНС) на уровне первичной обработки сигналов позволит [4] улучшить помехоустойчивость обработки информации на 14...20 дБ, что не является, однако, функционально достаточным и при этом технически сложно реализуемо ввиду необходимости высокоскоростного обмена данными между конструктивно разнесенными разнородными системами.

Необходимо применение дополнительных средств пространственно-поляризационной (многоканальной) фильтрации широкополосных помех и частотно-временной (одноканальной) режекции узкополосных помех.

При проектировании помехоустойчивой НАП полезно соблюдать принцип модульности и наращиваемости средств помехозащиты, так чтобы производитель и потребитель могли найти компромиссное решение в плане стоимости разработки, производства и эксплуатации аппаратуры, ее энергопотребления и качества подавления помех.

**Способ решения задачи.** В радиоканалах ГЛОНАСС, GPS и GALILEO используются электромагнитные волны круговой поляризации. Применительно к наземным потребителям навигационной информации количество навигационных космических аппаратов, одновременно находящихся в зоне радиовидимости, составляет обычно для одной системы от трех до 12 (в среднем 6). При этом сигналы ГНСС должны приниматься антенной аппаратуры потребителя в пределах практически всей верхней полусферы (за исключением десятиградусной пригоризонтной области). Для подвижных объектов, углы наклона которых при маневрах изменяются, требуемая зона обзора существенно больше – до 120...130° от местной вертикали. Из этих данных однозначно следует, что антенны должны быть изначально слабонаправленными.

Однако всенаправленная диаграмма направленности не удовлетворяет современным требованиям по помехоустойчивости НАП. Единственной реальной альтернативой является модернизация НАП с целью обеспечения пространственной и частотной фильтрации помех. При этом дополнительные средства пространственно-поляризационной (многоканальной) фильтрации широкополосных помех и частотно-временной (одноканальной) режекции узкополосных помех должны обладать эффективностью не менее 20...34 дБ.

Пространственная фильтрация помех осуществляется с помощью малогабаритных «интеллектуальных» адаптивных приемных антенных решеток (АР), устанавливаемых на борту ВС.

Антенны такого типа осуществляют пространственно-временную (поляризационную) обработку [5], [6] входящих сигналов таким образом, чтобы значительно улучшить отношение сигнал/(шум + помеха) на выходе АР или, что эквивалентно, на входе линейного приемного устройства. Повышение отношения сигнал/(шум + помеха) достигается изменением амплитудно-фазового распределения поля на раскрые решетки. Распределение поля изменяется за счет управления коэффициентами передачи в отдельных каналах антенной решетки. Таким образом, адаптивная антенна включает в себя: АР, диаграммообразующую схему с вектором-столбцом управляемых коэффициентов передачи  $\mathbf{W}$  в каналах отдельных элементов решетки и устройство управления – адаптивный процессор.

Путем управления коэффициентами передачи каналов формируется такое распределение поля на раскрые АР, чтобы максимум адаптированной диаграммы направленности (ДН)  $F_0(\theta, \varphi)$  был ориентирован на источник полезного сигнала, а минимумы («нули»)  $F_0(\theta, \varphi)$  – на источник помех (рис. 1). На рисунке через  $F(\theta, \varphi)$  обозначена исходная ДН.

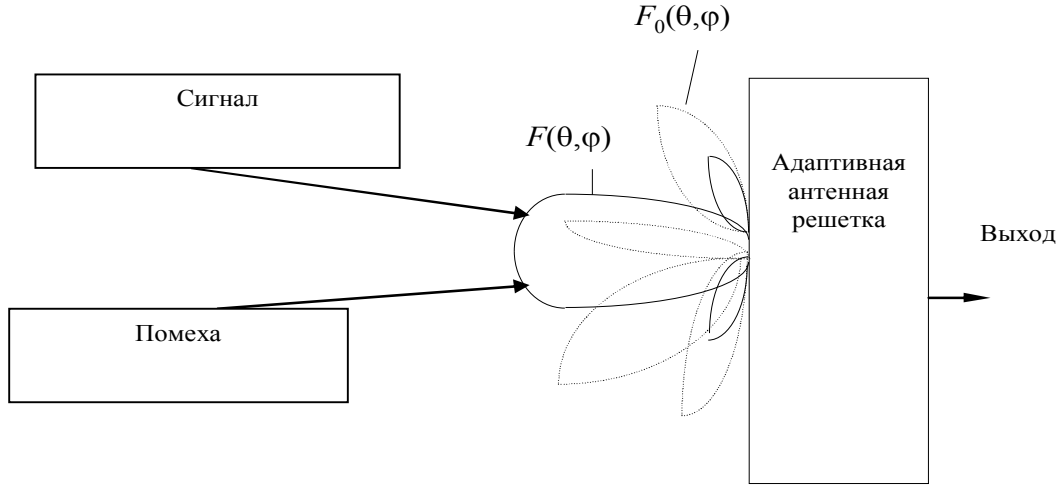


Рис. 1

При одновременном воздействии нескольких источников помех их совместное подавление возможно только при наличии достаточного числа степеней свободы решетки. Число степеней свободы на единицу меньше, чем количество элементов АР ( $M$ ). Для одновременного подавления двух-трех источников помех достаточно, чтобы  $M = 4$ . Таким образом, НАП может быть малоканальной.

Как известно [4], [6], оптимальный (по максимуму отношения сигнал/(помеха+шум)) вектор коэффициентов передачи адаптивной антенны задается выражением  $\mathbf{W}_{\text{opt}} = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{W}_0$ , где  $\mathbf{R}$  – корреляционная матрица смеси принятых пространственных сигналов и собственных шумов НАП;  $\mathbf{W}_0$  – фокусирующий вектор (формирующий максимум ДН в направлении источника системного сигнала ГНСС).

Высокая скорость адаптации ДН может быть достигнута за счет применения алгоритмов прямого решения. Скорость адаптации в данном случае будет определяться временем нахождения оценки корреляционной матрицы  $\hat{\mathbf{R}}$  смеси входного пространственного сигнала и шумов НАП и временем ее обращения. Поскольку количество операций непосредственного обращения  $\hat{\mathbf{R}}$  оценивается величиной  $M^3$ , целесообразно применять алгоритмы рекуррентного обращения-накопления корреляционной матрицы:

$$\hat{\mathbf{R}}(i+1) = (1-\gamma)\hat{\mathbf{R}}(i) + \gamma\mathbf{X}(i+1)\mathbf{X}^H(i+1), \quad (1)$$

где  $\hat{\mathbf{R}}(i)$  – оценка матрицы  $\mathbf{R}$  на  $i$ -й итерации;  $0 \leq \gamma \leq 1$  – постоянный коэффициент, учитывающий степень важности предыдущих значений;  $\mathbf{X}$  – вектор комплексных амплитуд входного сигнала; символ  $H$  означает эрмитово сопряжение.

Применительно к выражению (1) операция рекуррентного обращения матрицы  $\mathbf{R}$  описывается формулой

$$\mathbf{R}^{-1}(i+1) = \frac{1}{1-\gamma}\mathbf{R}^{-1}(i) - \frac{\gamma}{1-\gamma} \left( \frac{\mathbf{R}^{-1}(i)\mathbf{X}(i+1)\mathbf{X}^H(i+1)\mathbf{R}^{-1}(i)}{1-\gamma + \gamma\mathbf{X}^H(i+1)\mathbf{R}^{-1}(i)\mathbf{X}(i+1)} \right). \quad (2)$$

Число итераций для расчета обратной матрицы по формуле (2) равно  $X$ . При этом с ростом номера шага рекурсии  $i$  от выборки к выборке происходит уточнение оценки обратной матрицы.

**Технические средства для решения задачи.** Структура предлагаемой унифицированной НАП с повышенной помехоустойчивостью изображена на рис. 2. Аппаратура содержит компактную АР, обеспечивающую пространственное формирование «нулей» диаграммы направленности, и комплект базовых узлов, включая блок цифровой обработки сигналов (ЦОС), в котором собственно проводится пространственная фильтрация. Применение помехоустойчивой НАП не препятствует параллельному использованию традиционной авиационной НАП GPS/ГЛОНАСС. Тогда защита от помех осуществляется в «системе по выбору».

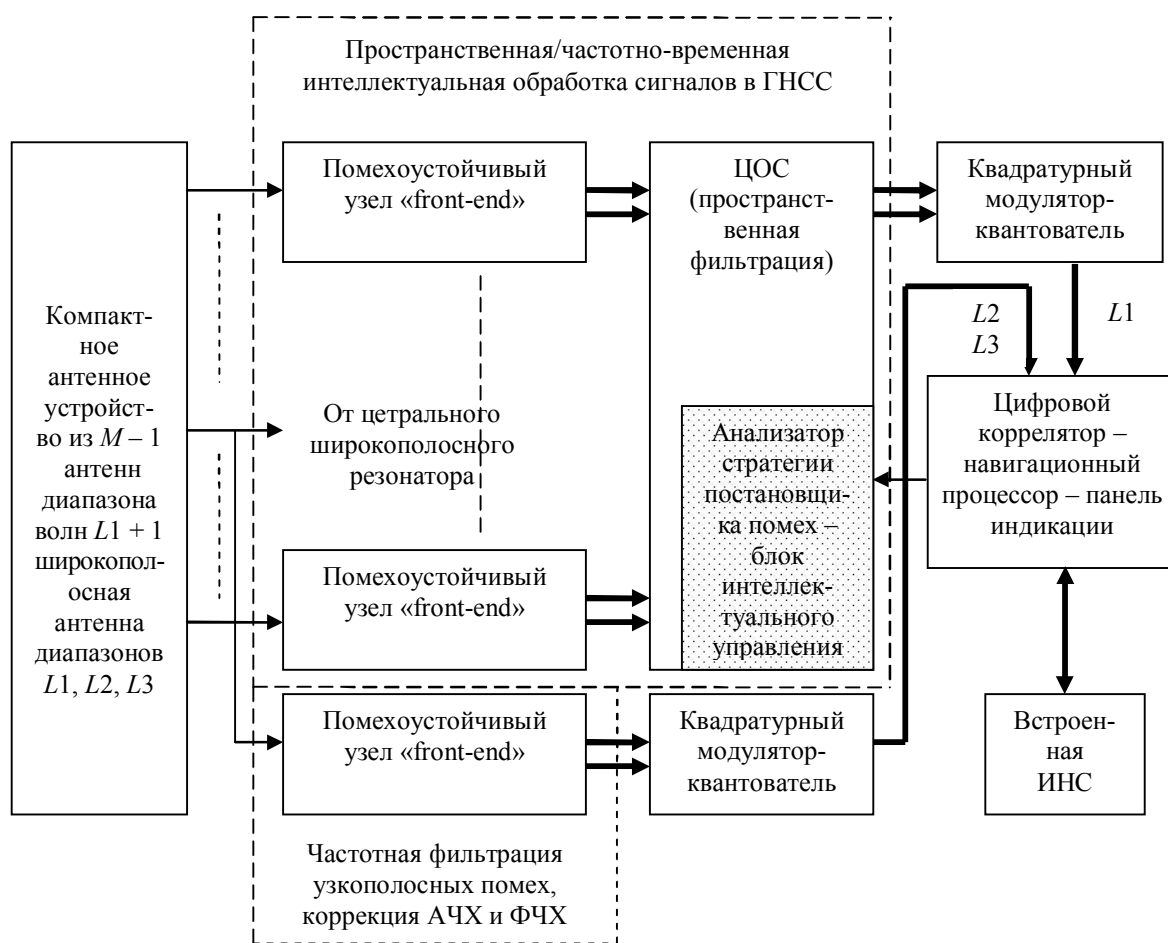


Рис. 2

Основу НАП с повышенной помехоустойчивостью составляет многоканальный по количеству приемных резонаторов АР цифровой тракт пространственно-временной обработки сигналов и помехоустойчивый узел «front-end». Помехоустойчивый узел обеспечивает преобразование аналогового сигнала с СВЧ в цифровой сигнал на видеочастоте или промежуточной частоте.

В состав АР должен входить, как минимум, 1 широкополосный резонатор и от трех до шести и более периферийных узкополосных приемных резонаторов. С помощью широкополосного резонатора осуществляется прием сигналов во всех используемых в настоящее время диапазонах волн ( $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ ). Принятые центральным резонатором сигналы в диапазонах  $L2$ ,

$L3$ , отфильтрованные только во временной области, поступают на отдельный вход цифрового коррелятора-процессора для обеспечения навигационного решения в диапазонах  $L2$ ,  $L3$ . Принятые всеми резонаторами АР сигналы в диапазоне  $L1$  проходят пространственно-временную обработку с целью фильтрации помех. Отфильтрованные сигналы поступают на отдельный вход цифрового коррелятора-процессора для получения навигационного решения. По аналогии можно защищать диапазон  $L2$  или диапазоны  $L1$ ,  $L2$  вместе.

Построение НАП согласно рис. 2 обеспечивает экономную в смысле аппаратных и финансовых затрат реализацию.

Другой упрощенный и еще более удешевленный (практически в  $M$  раз) вариант унифицированной НАП с повышенной помехоустойчивостью использует только одиночную антенну и поляризационное формирование «нулей» ДН. Структура НАП изображена на рис. 3. Аппаратура работает подобно ранее описанной, однако приемный резонатор имеет 3 выхода: широкополосный деполаризованный и 2 выхода, ортогональных по поляризации.



Рис. 3

**Тактико-технические данные предлагаемой помехоустойчивой НАП.** Научно-технические решения, приведенные ранее, можно реализовать в НАП со следующими параметрами.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: поперечный размер семиэлементного двухсистемного широкополосного антенного блока диапазонов частот  $(L1 + L2)$  – 320 мм, габариты собственно блока антенной электроники –  $64,7 \times 211 \times 415$  мм, масса не более 5 кг. Антенные блоки изготавливаются с применением негорючих материалов, покрытий и должны удовлетворять всем требованиям по стойкости к внешним воздействиям. Нарботка на отказ не менее 30 000 ч.

Ослабление широкополосных и узкополосных помех до 40...45 дБ.

Энергопотребление – не более 30 Вт.

Техническое обслуживание в период эксплуатации не требуется.

Область применения – авиационная, морская и стационарная гражданская техника ответственных пользователей.

Статья подготовлена в рамках выполнения Государственного контракта № П1006 от 20.08.2009.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

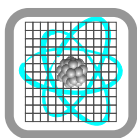
1. Шебшаевич В. С. Сетевые спутниковые навигационные системы. М.: Радио и связь, 1993.
2. Немов А. В., Писарев И. Ю. Технология помехоустойчивого измерения пространственной ориентации летательных аппаратов по сигналам GPS/ГЛОНАСС для перспективного бортового радионавигационного комплекса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 4. С. 50–55.
3. Царев В. М., Жолнеров В. С., Соловьев Ю. А. Радионавигационный план Российской Федерации и проблемы развития радионавигационного обеспечения // Новости навигации. 2006. № 3. С. 15–25.
4. Возможности пространственной режекции помех при приеме сигналов глобальных навигационных спутниковых систем / С. Б. Писарев, А. В. Немов, А. М. Иванов, М. М. Фуксов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2003. Вып. 2. С. 61–72.
5. Соловьев Ю. А. Комплексование глобальных спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS с другими навигационными измерителями // Радиотехника. 1999. № 1. С. 15–20.
6. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию/ Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986.

*A. V. NEMOV*

## RADIO-INTERFERENCE PROTECTION OF AERIAL GNSS CIVIL EQUIPMENT

*The reasons of radio-interference vulnerability of civil GNSS equipment of critical users are given. The mode of radio-interference protection is validated. This mode is established on a null steering in a compact on-board antennas array. Powerfull natural and man-made interferences are reduced. Saving technical decisions are proposed and discussed. Obtained performance characteristics of GNSS critical users equipment are discribed.*

**GNSS, interference immunity, adaptive antenna array, aerial civic equipment, critical user**



УДК 537.533.7

*И. Л. Шейнман, А. Д. Канарейкин*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОПЕРЕЧНОЙ ДИНАМИКИ ПУЧКА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КИЛЬВАТЕРНОМ УСКОРИТЕЛЕ**

*Исследована самосогласованная поперечная динамика сильнооточного релятивистского электронного сгустка, используемого для возбуждения кильватерных полей в цилиндрической структуре с диэлектрическим заполнением и вакуумным каналом для пролета пучка. Определено влияние параметров фокусирующей системы на дальность полета пучка. Сформулированы требования к системе фокусировки пучка. Работа поддержана грантами РФФИ № 09-02-00921 и Минобрнауки России.*

**Эффект Вавилова–Черенкова, кильватерное ускорение, кильватерный ускоритель, релятивистские электронные пучки, коэффициент трансформации энергии**

Метод диэлектрического кильватерного ускорения электронов, основанный на эффекте Вавилова–Черенкова, является одним из перспективных направлений создания высокоградиентных структур современных линейных ускорителей. Волноводные структуры, заполненные диэлектриком, с возбуждением поля в них сильнооточным электронным пучком интенсивно исследовались на протяжении последних лет с точки зрения перспектив их использования для линейных ускорителей высоких энергий.

Основной элемент такой структуры представляет собой цилиндрический металлический волновод, заполненный внутри диэлектриком с вакуумным каналом вдоль оси. Короткий (1...4 мм) электронный сгусток с большим зарядом (типичное значение – 20...40 нКл) и относительно небольшой энергией частиц (15...100 МэВ) при пролете по вакуумному каналу генерирует моду черенковского излучения  $TM_{01}$  с продольной составляющей электрического поля до 100 МВ/м. Следующий за ним с задержкой, подбираемой из требования согласования с ускоряющей фазой кильватерного поля, ведомый сгусток с малым зарядом ускоряется этим кильватерным полем. Данный принцип ускорения был успешно экспериментально продемонстрирован в Аргоннской национальной лаборатории США (АНЛ) и в настоящее время интенсивно развивается в ряде лабораторий [1]–[8].

Повышение эффективности ускорителя связано с увеличением доли энергии ведущего сгустка, которая передается частицам ускоряемого пучка. При этом необходимо одновременно как максимально полное экстрагирование энергии из ведущего сгустка  $\Delta W^- = \int_0^L eE^- dl$ , так и увеличе-

ние переданной ускоряемому сгустку энергии  $\Delta W^+$ . Указанный критерий требует обеспечения максимально возможной дальности пролета  $L$ , на которой сгусток взаимодействует с ускорительной структурой, что, в свою очередь, предъявляет существенные требования к обеспечению поперечной устойчивости ускоряющего и ускоряемого пучков.

Наличие, наряду с продольными полями, поперечных отклоняющих пучков полей вносит существенные коррективы в выбор и организацию ускорительной схемы. Анализ поперечной динамики сильноточных сгустков показывает определяющее влияние радиального отклонения пучка на ограничение дальности пролета  $L$  сгустков в волноводе [2], [4]–[6]. При его превышении под действием отклоняющих сил происходит касание пучком стенок волновода, потери сначала отдельных частиц, а затем и всего сгустка. Тем самым поперечные неустойчивости ограничивают продольную длину ускорительной структуры, а также определяют расстояние, на котором возможна передача энергии от ведущего сгустка к ускоряемому пучку.

Введение внешней фокусировки лишь частично подавляет поперечные неустойчивости, приводя к относительному увеличению дальности полета по сравнению со случаем без использования внешней фокусирующей системы. В результате электроны сгустков попадают на стенку волновода и не успевают передать свою энергию кильватерному полю. Переданная ускоряемому сгустку энергия  $\Delta W^+$  уменьшается при возрастании потерь заряда ускоряющего пучка.

Рассмотрим электронный сгусток, движущийся параллельно оси волновода. Математическое моделирование продольной и радиальной составляющих кильватерного поля в диэлектрической структуре, возбуждаемой осевым распределением тока в приближении одиночного сгустка, проведено с использованием аналитической теории [2], [8].

Расчет величин полей, создаваемых сгустками, будем проводить в предположении гауссового распределения зарядов в них как по продольной  $f(\zeta)$ , так и по радиальной  $f(r)$  координате. Поскольку в отклоняющее поле при небольших отклонениях пучка от оси наибольший вклад вносит 1-я азимутальная мода, сила, действующая на заряды в радиальном направлении, зависит от  $r$  линейно ( $I_1(kr) \approx kr$  при малых  $kr$ ), интегрирование элементарных источников поперечной силы по радиальной координате дает математическое ожидание гауссового распределения. Таким образом, для расчета радиальной динамики можно считать, что заряд сосредоточен в центре поперечного распределения сгустка [3]. В дальнейшем будем рассматривать нитевидный электронный сгусток (пучок) с продольным профилем заряда  $f(\zeta)$ , движущийся параллельно оси волновода со смещением  $r(\zeta, t)$ . Начальное смещение сгустка  $r(\zeta, t)|_{t=0}$  примем равным  $r_0$ .

Поле гауссова сгустка с зарядом  $q$  можно определить, взяв интеграл-свёртку поля точечного заряда с распределением заряда  $f(\zeta)$  в сгустке:

$$E_z = q \sum_{n,m} \Psi_{E_{z,n,m}} I_n \left( k_{r,n,m} r(\zeta, t) \right) \int_0^\zeta f(\zeta_0) \cos \left[ k_{z,n,m} (\zeta - \zeta_0) \right] I_n \left[ k_{r,n,m} r(\zeta_0, t) \right] d\zeta_0,$$

где  $\psi_{E_z n, m}$  – коэффициенты ряда, зависящие от геометрии, диэлектрической проницаемости волновода и начального положения заряда;  $\zeta = z - Vt$  – расстояние за сгустком;  $k_{z n, m} = 2\pi v_{n, m} / (\beta c)$  – продольная компонента волнового вектора кильватерной волны ( $v_{n, m}$  – собственные частоты волновода, зависящие от его геометрических размеров и диэлектрических свойств материала).

Радиальная сила, действующая на электроны сгустка, может быть найдена как

$$F_r = -eq \sum_{n, m} \psi_{F_r n, m} I'_n [k_{r n, m} r(\zeta, t)] \int_0^\zeta f(\zeta_0) \sin [k_{z n, m} (\zeta - \zeta_0)] I_n [k_{r n, m} r(\zeta_0, t)] d\zeta_0 + F_f,$$

где  $F_f$  – внешняя фокусирующая сила.

Запишем уравнения продольной и радиальной динамики при скорости пучка  $v$ , близкой к скорости света в вакууме [4]–[8]:

$$\frac{d(\beta_z \gamma)}{dt} = \frac{-eE_z(\zeta, t)}{m_e c}, \quad \frac{d(\beta_r \gamma)}{dt} = \frac{F_r(\zeta, t)}{m_e c},$$

где  $\beta_z = v_z / c$ ;  $\beta_r = v_r / c$ ,  $\gamma = (1 - \beta_z^2 - \beta_r^2)^{-1/2}$  – релятивистский фактор.

Продольная и радиальная силы, стоящие в правых частях уравнений движения зависят от радиального распределения заряда в сгустке  $r(\zeta, t)$ . Поскольку радиальное распределение заряда меняется в процессе движения сгустка и само по себе является искомой величиной, для возможности осуществления интегрирования уравнений движения будем рассматривать относительно малые интервалы времени, на которых продольные и радиальные силы можно считать неизменными.

Интегрируя уравнения продольной и радиальной динамики по времени и разрешая полученную систему относительно продольной и радиальной скоростей, получим [6]:

$$\beta_z(t) = \frac{\xi(t)}{\sqrt{1 + \xi(t)^2 + \eta(t)^2}}; \quad \beta_r(t) = \frac{\eta(t)}{\sqrt{1 + \xi(t)^2 + \eta(t)^2}},$$

где  $\xi(t) = a_z(\zeta)t + \beta_{z0}\gamma_0$ ;  $a_z(\zeta) = -eE_z(\zeta) / (m_e c)$ ;  $\eta(t) = a_r(\zeta)t + \beta_{r0}\gamma_0$ ;  $a_r(\zeta) = F_r(\zeta) / (m_e c)$ .

Новые координаты частицы можно найти путем интегрирования полученных скоростей. Произведя интегрирование, получим:

$$z = z_0 + \frac{c}{a^3} \left[ a a_z \left( \sqrt{1 + \xi(t)^2 + \eta(t)^2} - \gamma_0 \right) + \gamma_0 \left( a_r^2 \beta_{z0} - a_z a_r \beta_{r0} \right) \ln |\delta| \right],$$

$$r = r_0 + \frac{c}{a^3} \left[ a a_r \left( \sqrt{1 + \xi(t)^2 + \eta(t)^2} - \gamma_0 \right) + \gamma_0 \left( a_z^2 \beta_{r0} - a_r a_z \beta_{z0} \right) \ln |\delta| \right],$$

где  $a = \sqrt{a_z^2 + a_r^2}$ ;  $\delta = \frac{a^2 t + \gamma_0 (a_z \beta_{z0} + a_r \beta_{r0}) + a \sqrt{1 + \xi(t)^2 + \eta(t)^2}}{\gamma_0 (a_z \beta_{z0} + a_r \beta_{r0} + a)}$ ; зависимость величин

$\xi(t) = \xi(\zeta, t)$ ;  $\eta(t) = \eta(\zeta, t)$  от положения частицы в сгустке  $\zeta$  для упрощения записи опущена.

Значительные амплитуды генерируемых сильноточным сгустком собственных отклоняющих полей, воздействующих на его хвостовую часть, придают особое значение фокусирующей системе ускоряющего пучка. Для удержания сильноточного пучка целесообразно использовать жесткую фокусирующую систему, основанную на чередовании магнитных квадрупольных фокусирующих и дефокусирующих линз [7], [8].

На периоде фокусирующей системы радиальную силу будем аппроксимировать гармонической зависимостью для учета провисания потенциала за пределы квадрупольной линзы в область зазора:

$$F_f = -k(l)r = -ec \frac{\partial B(l)}{\partial r} r = -ecr \frac{B_0}{2R_w} \cos \frac{2\pi l}{L_s}.$$

Численные расчеты динамики пучка с учетом жесткой фокусировки магнитным полем проводились для волновода с параметрами, соответствующими параметрам тестового ускорителя Аргоннской национальной лаборатории США [1]:  $R_w = 0.62987 \text{ м}$  – внешний радиус волновода;  $R_c = 0.5 \text{ м}$  – внутренний радиус волновода;  $\epsilon_1 = 17$  – диэлектрическая проницаемость материала;  $f = 13.625 \text{ ГГц}$  – базовая частота волновода. Параметры пучка: заряд сгустка  $Q = -100 \text{ фЕё}$ ; начальное расстояние от оси волновода до оси сгустка  $r_0 = 0.01 \text{ м}$ ; среднеквадратическая длина сгустка  $\sigma_z = 0.2 \text{ м}$ ; энергия пучка  $W_d = 15 \text{ МэВ}$ .

На рис. 1 представлена зависимость максимального и минимального радиальных смещений частиц пучка от расстояния, пройденного сгустком, при индукции фокусирующего поля  $B = 2 \text{ Тл}$ ,  $L_s = 6 \text{ см}$ . С увеличением времени полета сгусток начинает изгибаться. При оптимально подобранной длине секции  $L_s$ , обеспечивающей максимальную дальность полета  $L$ , максимальное и минимальное радиальные смещения примерно совпадают по модулю и равны радиусу вакуумного канала волновода.

На рис. 2 представлена зависимость дальности полета пучка  $L$  до касания им стенки волновода, от периода  $L_s$  системы фокусировки. Расчеты проводились при максимальном значении фокусирующего поля  $B = 1.9 \text{ Тл}$ , что соответствует градиенту магнитного поля  $dB/dr = 1.5 \text{ Тё/м}$  и начальной энергии сгустка  $W_d$  равной 15 и 150 МэВ. Зависимость носит многорезонансный характер. В связи с этим для обеспечения максимальной дальности полета требуется точный подбор длины секции фокусирующей системы.

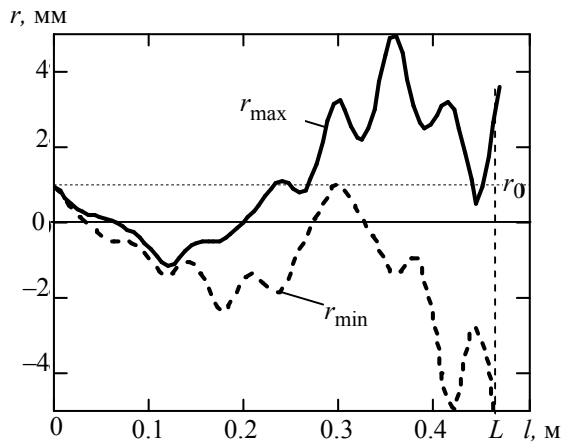


Рис. 1

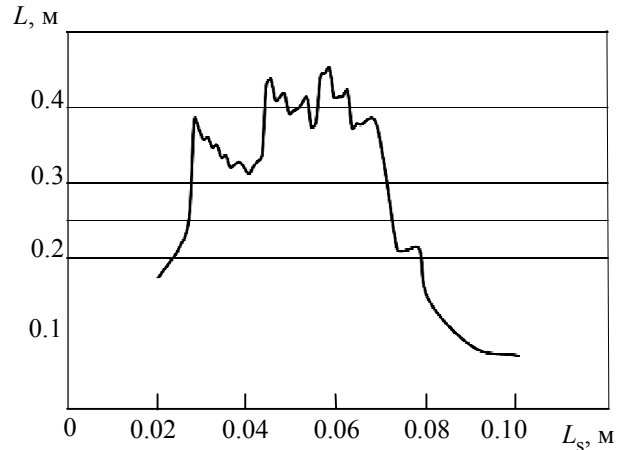


Рис. 2

Таким образом, для достижения максимальной дальности полета сгустка необходим подбор оптимальной длины периода фокусирующего элемента при заданной энергии пучка и величине фокусирующего поля.

Работа поддержана грантами РФФИ № 09-02-00921, Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы Министерства образования и науки России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Experimental demonstrations of wake-field effects in dielectric structures / W. Gai, P. Schoessow, B. Cole et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. Vol. 61, № 24. P. 2756–2760.
2. Numerical Simulations an Intense Charged Particle Beam Propagation in a Dielectric Wake Field Accelerator / W. Gai, A. D. Kanareykin, A. L. Kustov, J. Simpson // Phys. Rev. E. 1997. Vol. 55, № 3. P. 3481–3488.
3. King-Yuen Ng. Single-Bunch Beam Breakup in a Dielectric-Lined Waveguide // Proceedings XVth International Conference on High Energy Accelerators (FERMILAB-Conf-92/212), Hamburg, Germany, July 20–24, 1992.
4. Шейнман И. Л., Канарейкин А. Д. Поперечная динамика и межсгустковый энергообмен в ускорительной структуре с диэлектрическим заполнением // ЖТФ. 2008. Т. 78, № 10. С. 103–109.
5. Studies of Beam Breakup in Dielectric Structures / A. Kanareykin, C. Jing, A. Kustov et al. // Proceedings European Particle Accelerator Conference (EPAC'08), Genoa, Italy, 2008. P. 1643–1645.
6. Sheynman I. L., Kanareykin A. D. Self-consistent Transverse Dynamics and Interbunch Energy Exchange in Dielectric Loaded Wakefield Accelerating Structures // Proceedings European Particle Accelerator Conference (EPAC'08), Genoa, Italy, 2008. P. 3224–3227.
7. Павлов В. М. Линейные ускорители. Ч. II: Динамика частиц в линейных ускорителях / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 1999.
8. Wangler Thomas P. RF Linear Accelerators. Wiley-VCH, 2008.

*I. L. Sheynman, A. D. Kanareykin*

#### *DEFINITION OF FOCUSER PARAMETERS ON THE BASIS OF TRANSVERSE DRIVER BEAM DYNAMICS IN A DIELECTRIC LOADED WAKEFIELD ACCELERATOR*

*We investigated of a self consistent transverse dynamics of a high current relativistic electron bunch used to generate the wake fields in dielectric loaded cylindrical wakefield acceleration structure. Influence focusing on the flying range is determined. System requirements for the focus of the beam are formulated. Work is supported by grants, grant RFBR No. 09-02-00921 and grant Education and Science Ministry of Russia.*

**Effect of Vavilov-Čerenkov, wakefield acceleration, wakefield accelerator, relativistic electron bunches, energy transformation ratio**

УДК 621.384.6

**А. Ю. Грязнов**

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОКОНТРАСТНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ\***

*Рассмотрены особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения. Описаны особенности взаимодействия рентгеновского излучения с веществом на границе раздела двух сред, механизм возникновения амплитудно-контрастного изображения.*

**Микрофокусная рентгенография, теневое рентгеновское изображение, фазовый контраст**

В традиционной рентгенодиагностике контраст получаемого изображения просвечиваемого объекта обусловлен распределением интенсивности рентгеновского излучения за объектом, и в этом случае используется понятие «амплитудный контраст теневого рентгеновского изображения» [1].

\* Начало. Окончание в № 4 (2011).

Однако взаимодействие рентгеновского излучения с веществом не ограничивается только поглощением, а имеет более сложный механизм. В частности, в случае отклонения излучения на границе раздела двух сред падающая (первичная) волна меняет направление своего движения. Изменение направления движения первичной волны обусловлено изменением ее фазы, а амплитуда остается неизменной. Поэтому возникающий вследствие преломления излучения контраст изображения называется фазовым контрастом. Механизм возникновения фазового контраста рентгеновского изображения (если источник излучения точечный) представлен на рис. 1, где: 1 – источник излучения; 2 – объект; 3 – плоскость изображения; 4 – распределение интенсивности; 5 – изображение объекта; 6 – темная оконтуривающая линия; 7 – светлая оконтуривающая линия;  $t$  – область возникновения наблюдаемого фазового контраста;  $d$  – диаметр объекта;  $d_{\text{и}}$  – диаметр изображения;  $J_{\text{фк}}$  – интенсивность фазоконтрастного сигнала.

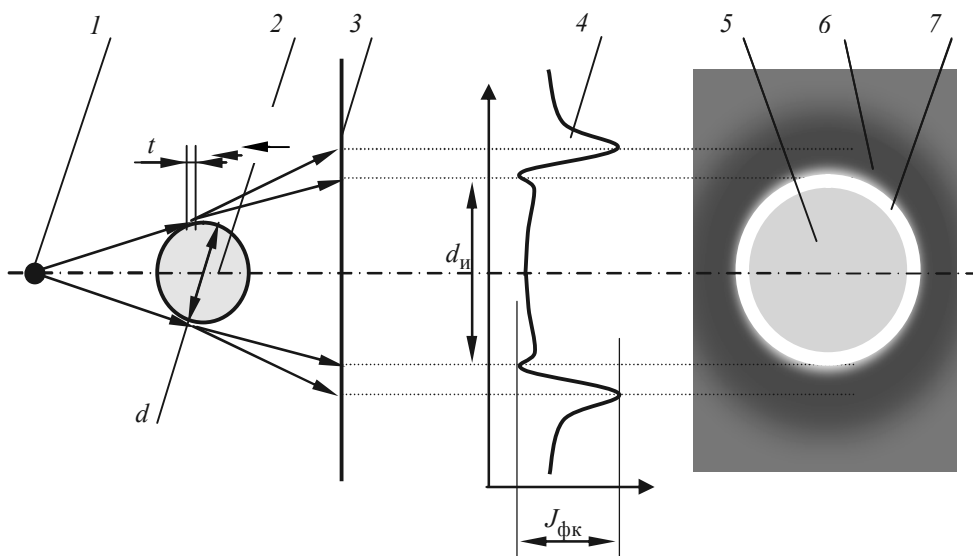


Рис. 1

Подобный эффект имеет место при любом способе рентгенодиагностики, однако в традиционной рентгенографии основную роль играет амплитудно-контрастный механизм, так как вклад фазового контраста из-за размытия изображения, создаваемого протяженным фокусным пятном, весьма незначителен. Но при микрофокусной съемке, за счет небольших размеров фокусного пятна, именно явление фазового контраста позволяет получать информацию, когда объект состоит из деталей, близких по химическому составу, или имеет размеры деталей, сравнимых с размером фокусного пятна, – в обоих случаях на традиционных рентгеновских снимках объекты будут практически неразличимы.

Рентгенодиагностические исследования проводятся в основном для органических материалов и для веществ с небольшим (до 20) атомным номером [2], и явление фазового контраста позволяет в несколько раз повысить информативность рентгеновских снимков, так как вероятность отклонения потока квантов поверхностным слоем объекта может быть в сотни и более раз (в зависимости от энергии квантов) выше, чем вероятность их поглощения. На реальных снимках свидетельством возникновения фазового контраста является наличие темной и светлой оконтуривающих линий на границе сред с различной плотностью, за счет перераспределения квантов рентгеновского излучения в плоскости приемника.

Чтобы определить вклад фазового контраста в формирование изображения при микрофокусной съемке, требуется его корректное математическое описание. Поскольку плотность почернения рентгеновской пленки (с учетом ее спектральной чувствительности) пропорциональна количеству энергии, упавшей на нее, т. е. интенсивности излучения у поверхности приемника, то задача моделирования теневого рентгеновского изображения сводится к нахождению пространственного распределения спектральной плотности потока излучения в плоскости приемника (рентгеновской пленки).

В качестве математической модели для расчета выбран однородный сферический объект радиуса  $R$ , центр которого расположен на расстоянии  $x$  от источника излучения и на расстоянии  $X$  от приемника излучения (рис. 2). Используемая в последующих расчетах переменная  $d$  – координата в плоскости детектора, в которой определяется спектральная плотность потока квантов  $N$  в зависимости от условий прохождения потока рентгеновского излучения.

Целью исследования является описание пространственного распределения спектральной плотности потока в плоскости приемника, однако для нахождения плотности почернения рентгеновской пленки этого недостаточно. В работе [3] приведен подробный расчет спектра излучения рентгеновской трубки, согласно которому после нахождения пространственного распределения спектральной плотности потока излучения в плоскости приемника для определения полной интенсивности излучения нужно проинтегрировать выражение для спектральной плотности потока излучения по всему диапазону энергий с учетом энергии каждого кванта в потоке и чувствительности пленки:

$$P = \int_0^{\infty} N_0(E, d) \cdot E \cdot P(E) dE,$$

где  $P$  – плотность почернения пленки;  $N_0(E, d)$  – спектральная плотность потока в точке  $d$ ;  $P(E)$  – спектральная чувствительность пленки.

В общем случае возможны следующие механизмы взаимодействия излучения с веществом на пути от источника до приемника:

I. Ослабление слоем воздуха между источником и приемником (излучение проходит «мимо» объекта).

II. Ослабление в веществе исследуемого объекта (излучение проходит через объект, классический амплитудный контраст).

III. Отражение излучения на границе раздела двух сред (объект–воздух) при падении под углом, меньшим, чем угол полного внешнего отражения.

IV. Преломление излучения при прохождении его через исследуемый объект (искажение классической картины распределения интенсивности излучения за объектом).

Кроме того для описания пространственного распределения спектральной плотности потока излучения в плоскости приемника необходимо учесть размытие изображения, связанное с тем, что фокусное пятно имеет конечные размеры.

Прямолинейное прохождение излучения через объект показано на рис. 2.

В данной части статьи будут рассмотрены случаи I и II, а также учет реальных размеров фокусного пятна.

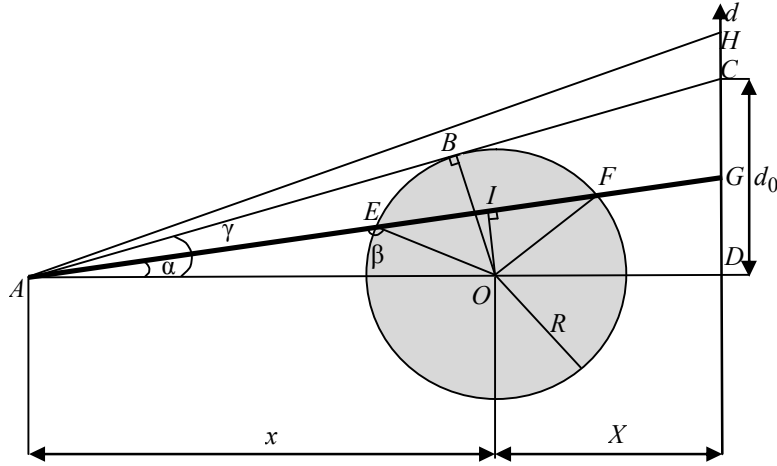


Рис. 2

I. В случае распространения излучения в направлении  $AH$  (рис. 2) задача состоит в нахождении спектральной плотности в точке  $H$  в плоскости детектора

$$N(E) = N_0(E) \exp(-\mu_a(E)D_a),$$

где  $N_0(E)$  – спектральная плотность излучения трубки на один стерадиан;  $\mu_b(E)$  – коэффициент линейного ослабления рентгеновского излучения воздухом;  $D_b$  – толщина слоя воздуха на пути распространения рентгеновского излучения (в данном случае –  $AH$ ).

Поскольку ослабление излучения пропорционально квадрату расстояния, то для распространения излучения вдоль центральной оси пучка (кратчайшего расстояния между фокусным пятном и плоскостью детектора) справедливо будет написать

$$N(E) = N_0(E) \exp(-\mu_b(E)D_b) \frac{1}{(x+X)^2}. \quad (1)$$

Если излучение распространяется под некоторым углом, например до точки  $H$  в плоскости приемника, то (1) приобретает следующий вид:

$$N(E, d) = N_0(E) \exp[-\mu_b(E)\sqrt{(x+X)^2 + d^2}] \frac{1}{(x+X)^2 + d^2}.$$

Зависимость только от переменной  $d$  будет выглядеть следующим образом:

$$N_{\text{пр}}(d) = \int_0^{E_{\text{max}}} N_0(E) \frac{\exp[-\mu_b(E)\sqrt{(x+X)^2 + d^2}]}{(x+X)^2 + d^2} dE. \quad (2)$$

На рис. 3 представлено распределение плотности потока излучения без объекта (суммарное расстояние до плоскости приемника по центральной оси пучка  $x+X=20$  см).

II. Если рассматривать ослабление излучения в объекте в направлении  $AG$ , то тогда выражение (2) разбивается на два – излучение ослабляется в слое воздуха  $AE+FG$  и слое вещества  $EF$ :

$$\begin{aligned} N_{\text{осл}}(d) &= \int_0^{E_{\text{max}}} N_0(E) \frac{\exp(-\mu_o(E)EF) \exp[-\mu_b(E)(AE+FG)]}{(x+X)^2 + d^2} dE = \\ &= \int_0^{E_{\text{max}}} N_0(E) \frac{\exp(-\mu_o(E)EF) \exp[-\mu_b(E)(\sqrt{(x+X)^2 + d^2} - EF)]}{(x+X)^2 + d^2} dE. \end{aligned}$$

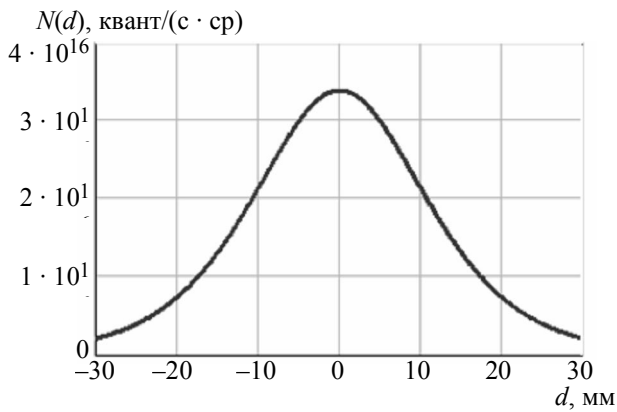


Рис. 3

$$N_{\text{осл}}(d) = \int_0^{E_{\text{max}}} N_0(E) \frac{\exp\left(-\mu_0(E) \sqrt{R^2 - \frac{d^2 x^2}{(x+X)^2 + d^2}}\right)}{(x+X)^2 + d^2} \times \\ \times \frac{\exp\left[-\mu_B(E) \left(\sqrt{(x+X)^2 + d^2} - \sqrt{R^2 - \frac{d^2 x^2}{(x+X)^2 + d^2}}\right)\right]}{(x+X)^2 + d^2} dE. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) позволяют описать распределение спектральной плотности потока излучения в плоскости приемника при ослаблении излучения сферическим объектом.

Результат расчета по выражениям (2) и (3) – распределение плотности потока излучения с учетом поглощения в объекте ( $x = 10$  см,  $X = 10$  см,  $R = 1$  см) показан на рис. 4.

В предыдущих математических расчетах размер фокусного пятна не учитывался, но для корректного описания распределения плотности потока излучения в плоскости приемника необходимо учесть возникновение геометрической нерезкости изображения, связанное с тем, что фокусное пятно имеет конечные размеры [4].

Если в качестве объекта рассматривать бесконечно малую точку, то ее изображение в плоскости приемника будет увеличенным изображением фокусного пятна. Таким образом,

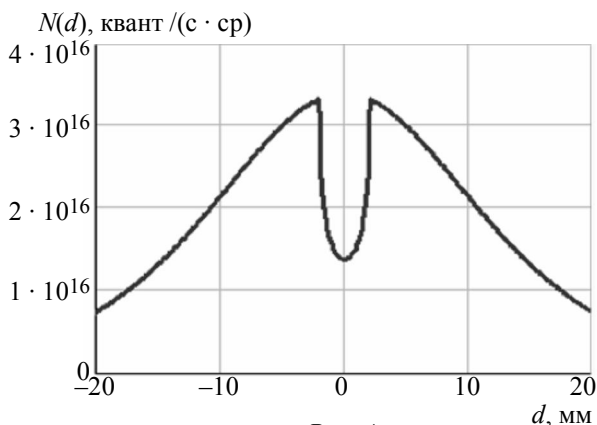


Рис. 4

если представить объект исследования как совокупность малых точек, то изображение объекта будет совокупностью изображений фокусного пятна. Для оценки влияния этого фактора на размытие изображения необходимо значение интенсивности в каждой точке рассчитанного спектра умножить на плотность распределения яркости фокусного пятна с учетом коэффициента увеличения изображения.

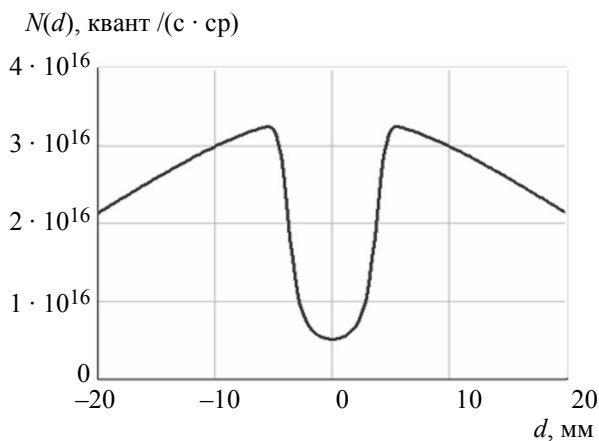
Распределение излучения по диаметру в случае круглого фокусного пятна может быть аппроксимировано нормальным законом:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu}{\sigma}\right)^2\right),$$

где  $y$  – переменная радиуса фокусного пятна;  $\mu$  – смещение максимума распределения от нуля (в данном случае отсутствует);  $\sigma$  – степень размытия изображения.

Если принять условие «трех сигм», которое в данном случае означает, что все кванты излучения, формирующие рентгеновское изображение фокусного пятна, будут сосредоточены в круге радиусом  $3\sigma$  ( $R = 3\sigma$ ), и учесть увеличение изображения, то форму распределения фокусного пятна в плоскости приемника для случая бесконечно малой точки можно описать выражением

$$F(d) = \frac{m}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d-\mu}{\sigma}\right)^2\right),$$



где  $m = X/x$  – коэффициент увеличения изображения для рассматриваемой модели. Тогда распределение спектральной плотности потока излучения в плоскости приемника при ослаблении излучения сферическим объектом приобретет следующий вид:

$$N(d) = \int_0^{\infty} N_0(E, d) F(d) dE. \quad (4)$$

Распределение излучения с учетом поглощения в объекте и размытия изображения ( $x = 10$  см,  $X = 10$  см,  $R = 1$  см, диаметр фокусного пятна – 0,3 мм) представлено на рис. 5.

Полученные выражения (2)–(4) позволяют описать пространственное распределение спектральной плотности потока в плоскости приемника в случае амплитудного контраста.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин М. А. Физика рентгеновских лучей. М.: Гостехтеоретиздат, 1953.
2. Васильев А. Ю. Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике. М.: ИПТК «ЛОГОС», 1998.
3. Лукьянченко Е. М., Грязнов А. Ю. Моделирование спектра первичного рентгеновского излучения в энергодисперсионном рентгеноспектральном анализе // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2003. Вып. 1. С. 10–14.
4. Потрахов Н. Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // Вест. новых медицинских технологий. 2007. Т. XIV, № 3. С. 167–169.

A. Y. Gryaznov

MATHEMATICAL MODEL OF THE X-RAY PHASE-CONTRAST IMAGE FORMATION. A PART 1.

*In article features of formation of the shadow x-ray image by microfocal sources of radiation are considered. Features of interaction of x-ray radiation with substance on border of section of two environments are described. In the first part the description of the mechanism of occurrence of the traditional x-ray image is given.*

**Microfocal x-ray imaging, the shadow x-ray image, phase contrast**



УДК 681.3

*К. М. Зорин*

## **МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РЕКОНФИГУРАЦИИ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

*Описана модель и методика реконфигурации логической структуры интегрированного объекта информатизации (ИОИ), описаны функционалы моделируемой структуры объекта информатизации, алгоритм эволюционной адаптации, синтаксис преобразующих правил, критерии для остановки адаптационного алгоритма.*

**Динамические графы, графовые грамматики, эволюционная адаптация структуры объекта информатизации**

Объекты информатизации постоянно увеличиваются в размерах, становятся все более сложными в управлении. Со временем цели ИОИ могут меняться, появляются новые потребности. Для обеспечения этих потребностей и достижения новых целей необходима обновленная структура объекта информатизации. При исследовании структуры ИОИ целесообразно разделить структуру на физическую (физические каналы связи, физические аппаратные средства) и логическую (структура, представляемая на информационном поле). Логическая структура может сильно отличаться от физической за счет применения решений виртуализации и сетевых служб.

Алгоритм реконфигурации ИОИ как динамической системы рассматривают как процедуру синтеза в каждый момент времени состояния ИОИ с учетом его поведения в предыдущие моменты времени. По результатам наблюдения за ИОИ подсистема управления принимает любое из альтернативных управляющих решений о смене состояния.

Таким образом, для общего случая целью изменения структуры ИОИ является достижение новых (изменившихся) целей ИОИ, преодоление появившихся вследствие внутренних факторов новых ограничений, а также нейтрализация деструктивных воздействий на ИОИ со стороны внешней среды. Состояния  $S(t)$  моделируемого ИОИ зависят от случайных воздействий  $\xi_S(t)$  и взаимодействующих процессов управления  $x(t)$ :

$$S(t) = F \{x(\tau_1), \xi(\tau_2), t\}, \tau_1, \tau_2 \in [t_0, t] \cap T.$$

Каналы мониторинга описываются процессом

$$S_U(t) = F_{S_U} S\{\tau_1, \xi_{S_U}(\tau_2), t\},$$

где  $\xi_{S_U}(t)$  – стохастический порождающий процесс, определяющий случайный характер мониторинга.

Системы принятия решений задаются стохастическими функционалами, вырабатывающими в каждый момент времени  $t$  рандомизированные значения  $u(t)$  принятых решений по наблюдениям  $S_U(t)$  при  $\tau \in [t_0, t] \cap T$ :

$$u(t) = F_U \{S_U(\tau_1), \xi_u(\tau_2), t\},$$

где  $\xi_u(t)$  – стохастический порождающий процесс, определяющий рандомизацию решений  $u(t)$ .

Канал управления характеризуется процессом управления  $x(t)$  в зависимости от принятых решений:

$$x(t) = F_x \{u(\tau_1), \xi_x(\tau_2), t\},$$

где  $\xi_x(t)$  – стохастические порождающие процессы, определяющие случайный характер реконфигурации.

Таким образом, для моделирования необходимо задать вектор анализируемых показателей эффективности и приведенные ранее функционалы, определяющие поведение моделируемого объекта при известном начальном его состоянии, а также интерпретировать характеристики и параметры функционалов значениями, характеризующими реальный ИОИ.

Источниками информационных потоков в сети являются пары сетевой адрес/порт (сокеты), по которым однозначно идентифицируются отправители информационных потоков. Сетевое соединение между двумя процессами осуществляется через пару сокетов. Каждый процесс пользуется своим сокетом, причем сокеты могут находиться как на разных компьютерах, так и на одном (в этом случае сетевое межпроцессное взаимодействие сводится к локальному).

Поведение логической структуры целесообразно рассматривать в зависимости от управления  $x^2(t) = \{f_x(m, t)\}$  и случайных воздействий, нарушающих отдельные связи:  $\xi_S^2(t) = \{f_\xi(m, t)\}$ , характеризующих значения планируемых и утерянных за счет случайных воздействий связностей в маршрутах. Тогда логическая структура в каждый момент времени  $t$  определяется соотношением

$$f(m, t) = [f_x(m, t) - f_{\xi_S}(m, t)] I(m, t),$$

где  $I_m = I_{i_1 i_2}^{k_1 l_1} I_{i_2 i_3}^{k_2 l_2} \dots I_{i_n i_{n+1}}^{k_n l_n} I_{i_1} I_{i_2} \dots I_{i_{n+1}}$  – индикатор действующего маршрута;  $n = L_m - 1$ .

Эволюционная адаптация отражает процесс «генерации» логической структуры ИОИ, предназначенный для поиска оптимальной.

Изменение структуры описывается так:

$$|Q(W + \delta W) - Q(W)| \leq \mu \|\delta W\|,$$

где  $\delta W$  – вариация структуры; норма вариации  $\|\delta W\|$  – число, характеризующее степень изменения структуры вариацией  $\delta W$ . При графовом описании структуры  $W$  нормой такой вариации становится число добавленных или удаленных вершин и (или) ребер графа.

Практическая значимость задач генерации случайных графов достаточно высока по той причине, что многие объекты реального мира, моделируемые с помощью теории графов, такие, как сети связи, имеют очень большое количество узлов и развиваются со временем так неорганизованно, что об их структуре имеется только ограниченная информация. Эти сети отличаются от классической модели случайного графа, а распределение связности узлов соответствует степенному закону [1]. Выбор при генерации (которая осуществляется последовательным добавлением узлов и ребер) некоторого предпочтения для повышения адекватности результата реальным объектам [2] потенциально может приводить к графам с произвольным распределением связности узлов, равно как и других искомым оценок. Однако задача генерации случайного графа с требуемыми характеристиками пока остается открытой проблемой [3].

Наиболее подходящим аппаратом для описания процесса генерации (эволюционной адаптации) структуры являются графовые грамматики, которые делятся на порождающие и трансформирующие. Порождающая графовая грамматика содержит конечное множество исходных графов и конечное множество правил допустимых локальных преобразований графов. Если набор исходных графов не задан, грамматика называется трансформирующей.

Язык графовых грамматик является очень удобным средством для описания преобразований графа (структуры), если всякое его изменение сводится к независимым изменениям ограниченных частей, например в случае, когда граф настолько велик, что описать его глобальное преобразование невозможно.

В 2007 г. для описания динамики графа и описания графовых грамматик был разработан, в основном на булевой алгебре и алгебре матриц, строгий алгебраический подход, названный матричными графовыми грамматиками (Matrix Graph Grammars) [4].

Любой граф можно представить матрицей смежности  $A_G$ , где элемент  $a_{ij} = 1$ , если есть связь узла  $i$  с узлом  $j$ .

Пусть  $L$  – исходный граф (перед шагом трансформации),  $R$  – конечный граф (после шага трансформации).

Определено действие, преобразующее исходный граф  $L$  в  $R$ ,  $p: L \rightarrow R$ .

Введем понятие матрицы удаления связей и матрицы добавления связей:

$e = (e)_{ij} = 1$ , если связь  $(i, j)$  удаляется, 0 – в противном случае;

$r = (r)_{ij} = 1$ , если связь  $(i, j)$  добавляется, 0 – в противном случае;

$$e = L \wedge (\overline{L \wedge R}) = L \wedge \overline{R};$$

$$r = R \wedge (\overline{L \wedge R}) = R \wedge \overline{L}.$$

Перепишем преобразование  $p: L \rightarrow R$  с помощью матриц удаления и добавления связей:

$$R = r \vee (\overline{e} \wedge L).$$

С помощью этого подхода можно синтезировать любой случайный граф, поэтому введем ограничения на возможные преобразования графа, чтобы получаемый граф описывал возможную реальную структуру ИОИ.

Определим основные преобразующие правила:

- *Дублирование вершины*

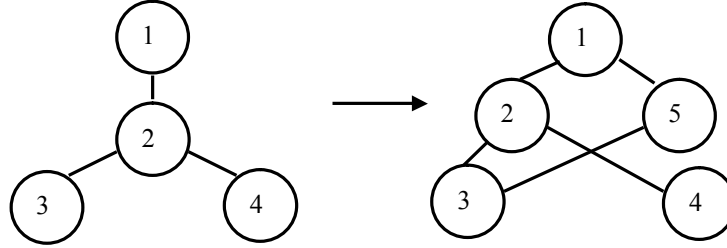


Рис. 1

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, e = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, r = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Можно проверить, что } R = r \vee (\bar{e} \wedge L) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Смысл такого преобразования (рис. 1) заключается в создании в ИОИ виртуального узла связи (например, виртуального сервера), который будет связан с теми же узлами, что и дублируемый узел. Дублирование вершины может быть частичным, как в приведенном примере, так и полным.

- *Повышение степени вершины*

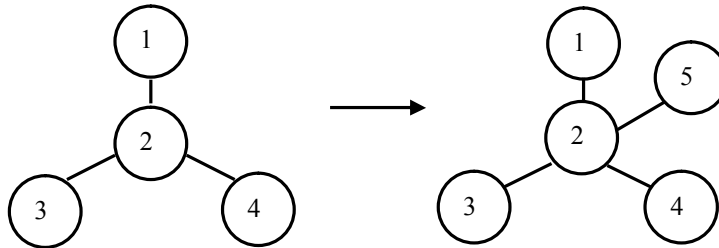


Рис. 2

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \vee \left( \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Смысл преобразования на рис. 2 заключается в повышении доступности (а также уровня иерархии) узла ИОИ.

• *Понижение степени вершины разбиением*

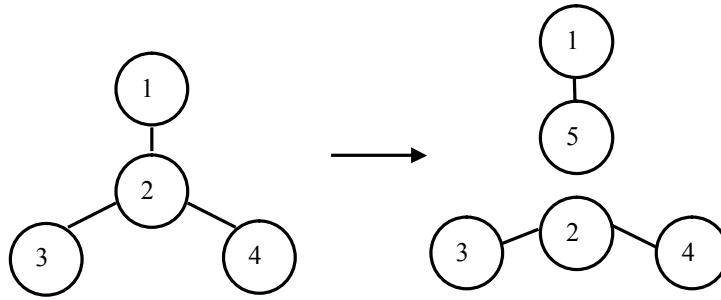


Рис. 3

Смысл преобразования на рис. 3 заключается в разграничении доступа к узлу ИОИ.

Могут быть заданы и другие преобразующие правила, определяемые условиями конкретной задачи. Также различные комбинации отдельных подобных правил могут быть объединены в последовательности преобразований [4].

Необходимо определить правила остановки для адаптационного алгоритма, который можно представить в виде рекуррентного уравнения [5]:

$$c_n = c_{n-1} - \gamma_n \frac{dQ(X_n, c_{n-1})}{dc},$$

где  $c$  – действительный параметр, характеризующий качество структуры по заданным критериям.

Способ определения момента остановки  $N$  состоит в выборе по достаточно малым разностям между несколькими последовательными значениями  $c_{n-i+1}, c_{n-i}, i = 1, \dots, k$ . Данное условие может быть записано в виде

$$N = \min \left\{ n: \sum_{i=1}^k |c_{n-i+1} - c_{n-i}| < \delta \right\}.$$

Для обоснования правила остановки необходимо решить вопрос выбора  $\delta$  и  $k$  в зависимости от  $\alpha$  и  $\varepsilon$ , чтобы выполнялось

$$P \left( \left| c_n - c^* \right| < \frac{\varepsilon}{\sum_{i=1}^k |c_{n-i+1} - c_{n-i}|} < \delta \right) \geq 1 - \alpha.$$

Необходимо синтезировать новые структуры и оценить их по критерию эффективности: решение предшествует наблюдению и определяется априорной информацией (синтезировать, оценить, реализовать).

На первом этапе эволюции структуры порождаются мутированные структуры:

$W_{0i} = W_0 + \delta W$ , где  $i = 1, \dots, l_0$ ;  $\delta W_i$  –  $i$ -я случайная мутация структуры из числа предварительно заданных ( $\delta W_i \in \Xi$ );  $l_0$  – число новых структур, которое назначается исходя из конкретных условий эволюции (из сложности исходной структуры).

Оценивать структуры целесообразно вначале в статике методом кластерного анализа на  $N$ -м этапе адаптации. В дальнейшем возможно стохастическое расширение (уточнение) решения с учетом стохастичности среды. В результате перед следующим этапом эволюции остается  $q_0$

лучших структур. Можно применить и алгоритм вероятностного отбора, когда структура, имеющая худшее значение критерия, выбывает с большей вероятностью, а процесс разыгрывания заканчивается тогда, когда остается  $q_0$  лучших структур.

В процессе эволюции как допустимые целесообразно рассматривать наиболее устойчивые структуры, определив в качестве критерия устойчивости массовость структур с близкими значениями показателей. Такой алгоритм будет отбирать структуры  $W$ , среди которых находится и оптимальная  $W^*$  (с необходимым значением критерия), до тех пор, пока не выполнен критерий останова. Случайность вариации  $\delta W$  обеспечивает сходимость процесса эволюции к оптимальному решению  $W^*$ . Другими словами, теоретическая сходимость алгоритма доказывается тем, что оптимальное решение задачи находится среди локально-оптимальных решений, а вероятность получения любой точки локального максимума больше нуля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks // SIAM Review. 2003. 45. С. 167–256.
2. Medina Matta I., Byers J. On the origin of power laws in Internet topologies // Computer Communication Review. 2000. 30(2). С. 2–10.
3. On the bias of traceroute sampling: or, power-law degree distributions in regular graphs / D. Achlioptas, A. Clauset, D. Kempe, C. Moore // Proc. of the Thirty-Seventh Annual ACM Symposium on Theory of Computing, ACM, 2005. С. 694–703.
4. Perez P. P. Matrix Graph Grammars: An Algebraic Approach to Graph Dynamics. VDM Verlag, 2009. С. 5–80.
5. Ферманн Х. Х. О некоторых подходах к определению правила останова для алгоритмов адаптации // Проблемы случайного поиска / Под общ. ред. Л. А. Растригина. Рига:ЗИНАТНЕ, 1975. С. 55–59.

K. M. ZORIN

#### THE MODEL AND TECHNIQUE OF RECONFIGURATION OF LOGICAL STRUCTURE OF THE INTEGRATED OBJECT OF INFORMATION

*The model and technique of reconfiguration of logical structure of the integrated object of information is described, functionals of modelled structure of the object of information are described, the algorithm of evolutionary adapting, syntax of reformative rules, criteria for a stop of adaptive algorithm is described.*

Graph dynamics, graph grammars, adaptation algorithm

УДК 519.682.4; 004.436.2; 004.436.4

А. В. Никитин, Д. Ндайонгеже

### СВОЙСТВО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЯЗЫКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ ДЛЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Предлагается использование свойство-ориентированных языков функциональных спецификаций для описания объектов проектирования в современных комплементарных САПР, рассматриваются вопросы формирования требований к ним для построения адекватных виртуальных моделей окружающего мира.*

Функциональная спецификация, концептуальный этап проектирования, комплементарная САПР, виртуализация, иерархия спецификаций

Языки функциональных спецификаций превратились в последнее время в обязательный инструмент проектировщика и пользователя САПР, с помощью которого решается задача описания объекта проектирования на всех этапах жизненного цикла проектируемых изделий/программ/технологий/процессов. Понятие жизненного цикла проектируемого объекта – краеугольный камень применяемой методологии проектирования.

На протяжении ряда лет на кафедре САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ» ведутся работы по комплементарному проектированию технических средств с использованием сред виртуальных инструментов [1]. В качестве технологической платформы используется среда LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) с графическим языком программирования «G» фирмы National Instruments (NI).

В настоящей статье рассматриваются место и роль свойство-ориентированных языков функциональных спецификаций в составе лингвистического обеспечения комплементарных САПР в контексте современной парадигмы развития научного знания.

Существующие технологии практически *не поддерживают* функции, составляющие суть *концептуального этапа проектирования*, хотя именно эта стадия жизненного цикла проекта интеллектуально-емкого изделия наиболее критична с точки зрения оперативности реакции на запросы рынка и обеспечения качества проекта.

При решении принципиально новых задач на пути создания высоких технологий изменяются взгляды на парадигму развития научного знания. Сегодня многие исследователи обращают внимание на принципиально новое явление в развитии современной науки, техники и технологии. Суть его описывается утверждением: ***цель научной деятельности состоит в получении результата, который может быть воплощен в пользующуюся спросом технологию. Она имеет более высокий приоритет***, чем просто объяснение мира и получение знаний, так или иначе претендующих на истинность.

В качестве концептуальных оснований такого подхода выступают положения теории и методологии проектирования сложных технических объектов и высоких технологий настоящего времени. Важнейшим аспектом происходящих сегодня концептуальных изменений в сфере автоматизированного проектирования и информационной поддержки изделий является переход от автономных САПР к так называемым комплементарным системам CAD/CAM/PDM конструкторско-технологического проектирования и проектирования сложных технических объектов в *режиме виртуального предприятия*.

К числу основных проектных процедур относятся:

- определение проблемы с описанием свойств объекта проектирования;
- выявление целей;
- формирование критериев;
- генерирование альтернатив;
- построение и использование моделей с помощью функциональных спецификаций;
- оптимизация;
- принятие решений и т. п.

Для виртуализации данных об объекте проектирования должны применяться формальные спецификации, обеспечивающие процедуру метaperехода в новое семиотическое пространство – среду виртуальных инструментов (VI-среду). На этапе концептуального проектирования наиболее важным является возможность начального задания и последующей оценки функциональных характеристик пока еще не существующего объекта проектирования. Следовательно, используемые для этого языки формальных спецификаций должны представлять функциональные характеристики объекта проектирования, т. е. они обязательно будут языками функциональных спецификаций. При этом очевидно, что для различных

объектов проектирования будут изменяться и наборы свойств, которые эти объекты характеризуют. Следовательно, для получения адекватной виртуальной модели объекта проектирования необходимо, чтобы применяемый для этого язык функциональных спецификаций был бы достаточно гибким для описания свойств объектов проектирования разной физической природы. Таким образом, адекватная виртуальная модель объекта проектирования может быть получена только с применением свойство-ориентированных языков функциональных спецификаций (рис. 1).

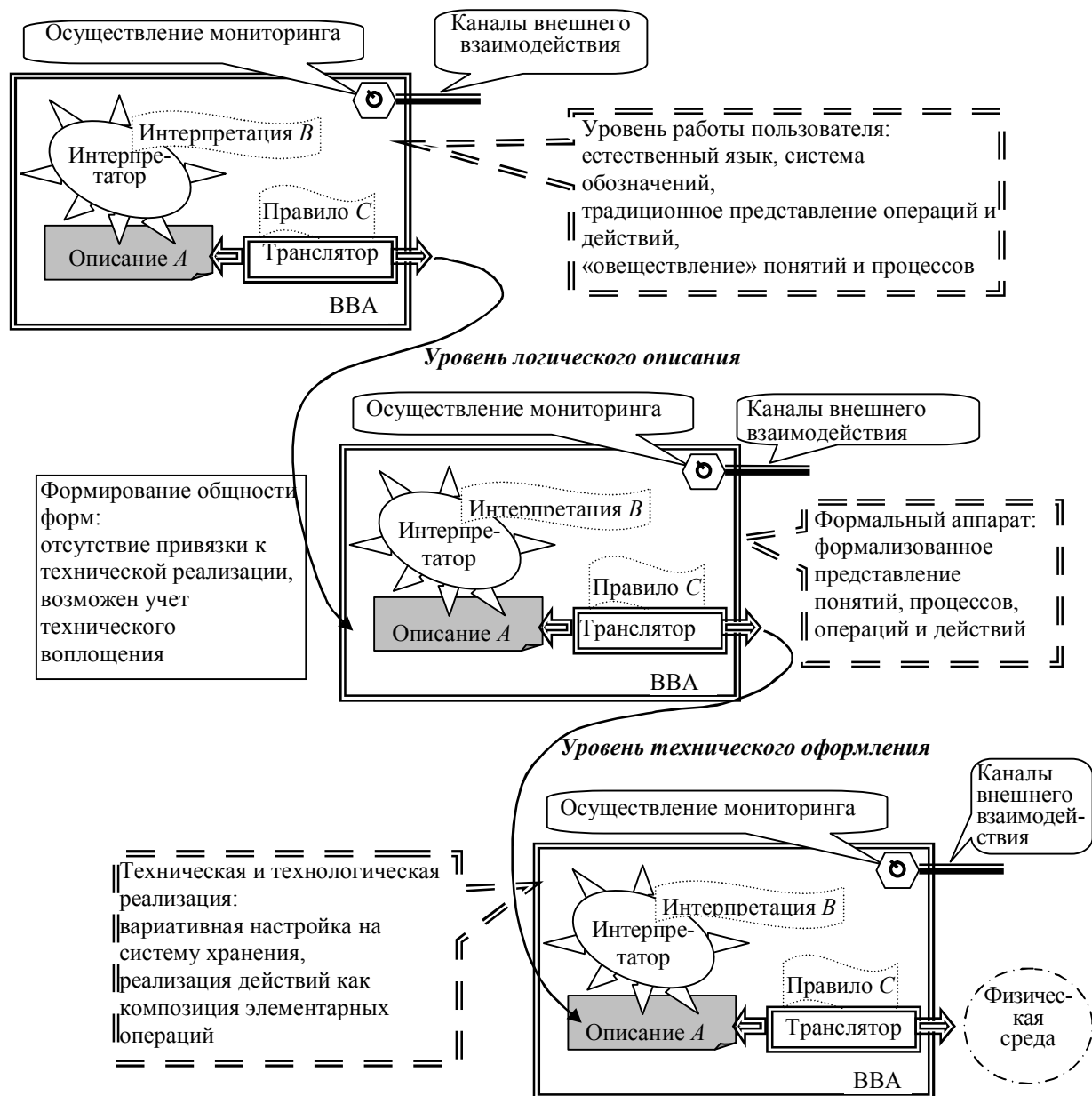


Рис. 1

Применение свойство-ориентированных функциональных спецификаций начиная с концептуального этапа проектирования должно повысить сопровождаемость программно-аппаратного обеспечения САПР и, как следствие, оперативность его применения в разработках, а также повысить качество получаемой документации, ее полноту и актуальность, что позволит добиться независимости от уровня подготовки и исполнительности проекти-

ровщиков в контексте CALS-технологий и концепции организации виртуального предприятия.

Свойство-ориентированные языки функциональных спецификаций являются частным случаем применения онтологического инжиниринга [2], так как подпадают под определение формальной спецификации разделяемой концептуальной модели:

- концептуальная модель – это абстрактная модель предметной области, описывающая применяемую систему понятий;
- они разделимы, так как подразумевается их согласованное понимание определенным сообществом;
- они являются спецификацией, так как содержат описание системы понятий в явном виде;
- они формальны, так как концептуальная модель становится машинно-читаемой.

Использование моделей и методов проектирования, активно применяемых при создании традиционных (не поддерживающих виртуализацию) САПР, оказывается малоэффективным. Это объясняется различием подходов как к сущности самой процедуры проектирования, так и к способам интерпретации ее результатов. В случае неvirtуализируемых САПР критерием выбора проектных решений является инвариантность семантики порождаемых ими процессов проектирования для любых допустимых флуктуаций проектной деятельности.

**Виртуализация** – особый стиль компьютерного моделирования, предполагающий *метасистемные переходы* из семиотического пространства вычислительной машины  $M$  в пространство *метамашин*  $M'$ . Благодаря такому переходу заменяется выполнение одного другим, например, более очевидного и привычного более эффективным и надежным. Данное преобразование может потребовать заметных вычислительных ресурсов, оно зачастую сложно и требует дополнительных усилий, но это – проверенный практикой способ, позволяющий как-то гарантировать относительную надежность и сравнительную эффективность такой чрезвычайно сложной системы, как современная компьютерная платформа САПР.

Обращение на *концептуальном этапе проектирования* к парадигме виртуализации не случайно, поскольку виртуализация является одним из основополагающих принципов при архитектурном проектировании современных информационно-вычислительных систем (ИВС). Это обусловлено, главным образом, необходимостью построения функционально и структурно масштабируемых систем, обеспечивающих баланс между потребительскими требованиями по переработке информации и техническими характеристиками и производительностью ИВС.

Современные реалии таковы, что помимо первичных требований к лингвистическому обеспечению САПР, таких, как полнота функциональных возможностей, надежность, производительность и дружелюбность интерфейса пользователя, все большую значимость приобретают требования, бывшие ранее вторичными, а именно:

- оперативность создания (инжиниринга) и модернизации (реинжиниринга) программно-аппаратных продуктов;
- независимость успешности реализации проекта от уровня подготовки и исполнительности конкретных проектировщиков.

При этом свойство-ориентированный язык функциональных спецификаций выполняет две разноплановые функции:

- 1) обеспечивает переход от абстрактной спецификации к конкретному воплощению одного из возможных способов решения задачи;
- 2) одновременно контролирует правильность этого перехода моделированием предполагаемых ситуационных путей развития процедур.

Таким образом, выбор семантики процедуры распределяется между этапами проектирования и рабочего функционирования VI-среды. Иными словами, наличие априорной неопределенности не только относительно непосредственных результатов проектирования (программирования), но и их семантики (интерпретации) становится необходимым и достаточным условием виртуализации проектных процедур (рис. 2).

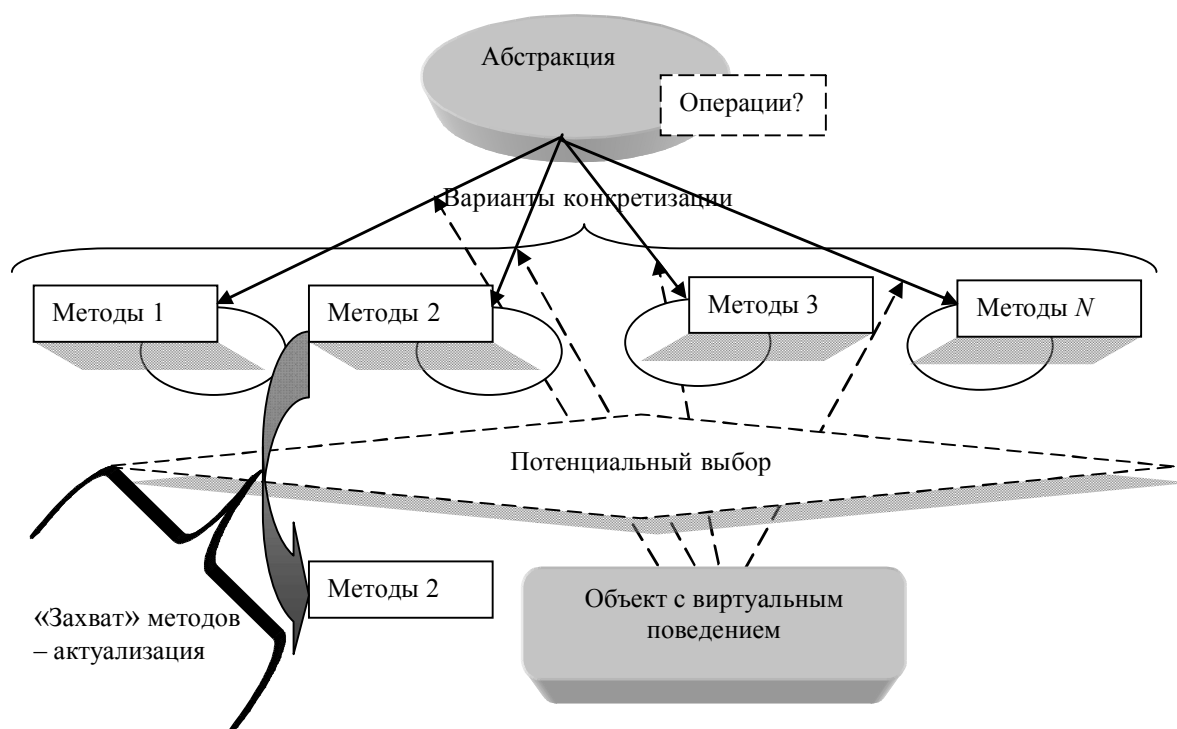


Рис. 2

Виртуальные методы – один из важнейших примеров реализации полиморфизма. Они позволяют создавать общий код, который может работать как с объектами (экземплярами) родительского класса, так и с объектами любого его класса-наследника. При этом родительский класс определяет принцип работы с объектами, а его наследники представляют конкретную реализацию этого принципа. В некоторых языках программирования, например в Java, все функции – члены класса, кроме статических, являются виртуальными. Базовый класс может и не предоставлять реализацию виртуального метода, а только декларировать его существование. Такие методы с отсутствующей реализацией называются «чисто виртуальными», или абстрактными.

Абстракция и вводится для того, чтобы можно было на ее основе настроить иерархию классов заданием вполне определенных конкретизаций, причем классы-наследники могут иметь разную интерпретацию и характеристики. Логически методы выполняют одну и ту же операцию согласно единой спецификации, определенной в родительском классе. Реализуются же они разными вариантами программного кода для каждого класса-наследника и при выполнении могут привести

к разным и даже абсолютно противоположным результатам. Таким образом, в этом контексте виртуальное следует рассматривать как *многообразие путей* возможного перехода от абстрактного к конкретному, причем на выбор такого пути влияет отнесение объекта (класса) к конкретной предметной области с наделением его явной прагматикой. Наделение класса в иерархии виртуальностью позволяет его объектам настроиться на конкретное воплощение операции, т. е. актуализировать свое поведение (см. рис. 2).

Среды виртуальных инструментов (VI-среды) обеспечивают механизм моделирования таких процессов актуализации, что позволяет провести более качественное рассмотрение и анализ предложенных проектных путей и, таким образом, подтвердить правильность выбора.

Существующие методы виртуализации ориентированы на детерминированное разрешение отмеченной ранее неопределенности, т. е. интерпретируют ее как неоднозначность. *Авторами развивается концепция масштабной виртуализации, обобщающая классические механизмы формирования способности САПР к адаптивной актуализации проектных процедур.* Использование свойство-ориентированных языков спецификаций на концептуальном этапе проектирования позволит решить проблему приложения нескольких совместимых между собой онтологий и реализовать простейшую трансляцию выражений между онтологиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов И. В., Калмычков В. А., Лозовой Л. Н. Комплементарное моделирование в средах САПР: виртуализация квантовых объектов информации. СПб.: Техномедиа, 2007.

2. Герасимов И. В., Майга А. И., Лозовой Л. Н. Онтологический инжиниринг. Средства и спецификации онтологического моделирования: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. С. 46.

*A. V. Nikitin, D. Ndayongeje*

*PROPERTY-ORIENTED FUNCTIONAL SPECIFICATION LANGUAGES FOR CONCEPTUAL STAGE OF DESIGNING.*

*A usage of property-oriented functional specifications languages for description of designing objects in modern complementary CAD systems is proposed in the article. A problem of defining the demands for these languages is discussed aiming the construction of adequate virtual models of surrounding Nature objects.*

**Functional specification, conceptual stage of designing, complementary CAD system, virtualization, hierarchy of specifications**

УДК 004.422

*В. К. Шмидт, Ф. Ф. Горбачевич, А. С. Кудрявцев*

## **МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ**

*Рассматриваются системы отображения и наблюдения (СОН) геопространственной сцены, модели таких систем и классы задач, существующие в рамках модели. Предлагается метод проектирования СОН на основе модели.*

**Система отображения и наблюдения, географическая информационная система, геопространственные системы, трехмерная визуализация, проектирование информационных систем**

В условиях растущей потребности к отображению геопространственной информации в трехмерном виде в настоящее время создается большое количество систем, визуализирующих геопространство. В геопространство входят как геоид, так и окружающие его объекты:

орбитальные и наземные. В числе систем, работающих с геопространством – ГИС, приложения-симуляторы, игровые приложения, СОН [1]. СОН должны решать проблемы отображения и наблюдения.

Проблема отображения заключается в необходимости представления и моделирования большого числа динамических объектов и работы с ними в оперативном времени, что затруднительно в связи с большим числом объектов и ограниченностью ресурсов ПК. Проблема наблюдения заключается в сложности восприятия человеком большого числа динамических объектов, в большом динамическом диапазоне (при значительной разнице размеров и расстояний между объектами) [2].

Авторы предлагают метод, позволяющий решить проблемы отображения и наблюдения на этапе проектирования СОН. Метод основывается на модели геопространственной сцены – представлении реальной сцены в рамках моделирования на ПК.

Для решения обозначенных проблем с помощью такой модели необходимо решить широкий спектр задач, которые условно можно разделить на несколько классов:

1. Представление объектов, определяющее их внешний вид. От подхода к представлению объектов зависит также их форма хранения в системе, например поверхностное представление (триангуляции) или объемное представление (воксельное).

2. Координатно-временной аппарат, определяющий динамику объектов и наблюдателей. Может быть синхронным (моделирование происходит на каждом такте) или асинхронным (событийным, моделирование происходит по мере поступления данных или наступления внешних событий).

3. Структура сцены, отвечающая за организацию объектов сцены, за связи между объектами и между пространством и объектами. Примеры структуры – объектно-ориентированная иерархия объектов (граф сцены); пространственно-ориентированное иерархическое деление пространства (октодерево).

4. Отсечения и видимость, позволяющие существенно сократить объем отображаемой информации, исключая все невидимые объекты и некоторые части видимых.

5. Степени детализации (СД) для объекта, адаптирующие объект к параметрам наблюдения. Так, расположенный на большем расстоянии объект может быть отображен с меньшей детализацией, используя меньшее число графических примитивов, что позволит ускорить его отображение. СД могут быть статичными (рассчитываются на основе размеров спроецированного на экран объекта) или с обратной связью (в зависимости от времени, затраченного на визуализацию).

6. Визуализация, основанная на изображениях, также призвана ускорить отображение, заменяя сложные графические примитивы более простыми и используя изображения (текстуры) для имитации более полной детализации. Данный класс задач является, по сути, подклассом задач степени детализации, но в силу своего объема и значимости вынесен авторами на один уровень с последними.

7. Проблема массивных сцен, подразумевающая работу со сценами, которые не помещаются в ОЗУ; объем подобных сцен часто превышает несколько гигабайт.

8. Распределенность, определяющая наличие нескольких наблюдателей, и способы передачи информации от централизованного хранилища наблюдателям.

**Последовательность отображения и наблюдения.** Модель динамической пространственной сцены должна содержать как структурную информацию (объекты сцены), так и динамическую (движение объектов и наблюдателя). Однако модель, включающая только представление статики и функционирование динамики, неполна, поскольку не оговаривает существование наблюдателя и то, как модель может быть отображена для него.

Другими словами, модель должна учитывать наблюдателя и, следовательно, содержать описание способа отображения модели [3].

Таким образом, в модель должны входить:

- представление статической информации (структуры);
- описание функционирования динамики в модели;
- описание способа отображения модели для ее последующего наблюдения.

Описание способа отображения модели, как правило, имеет вид последовательности, в которой показаны этапы преобразования внутренних состояний в изображение. Последовательность содержит этапы, обрабатывающие статическую информацию, и этапы, обрабатывающие динамическую.

Часто такую последовательность отображения называют также конвейером визуализации (в англоязычной литературе – rendering pipeline). Название «конвейер» не всегда точно передает суть, поскольку независимого выполнения операций в этой последовательности может и не быть.

На рис. 1 показана предлагаемая последовательность отображения в модели геопространственной сцены.



Рис. 1

Последовательность содержит следующие этапы:

- Измерение: объекты реального мира и их поведение преобразуются в описательную цифровую форму.
- Аккумуляирование: данные об объектах записываются в некоторое хранилище.
- Моделирование: строится модель пространства с объектами на текущий момент времени.
- Адаптация: модель адаптируется под параметры наблюдения, отсекаются невидимые объекты (решается проблема отображения), вводятся дополнительные вспомогательные объекты, упрощающие наблюдение (решается проблема наблюдения).

| Этап             | Классы задач                                                                           |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Измерение        | Представление объектов                                                                 |
| Аккумуляирование | Представление объектов                                                                 |
| Моделирование    | Координатно-временной аппарат.<br>Структура                                            |
| Адаптация        | Распределенность.<br>Массивные сцены.<br>Отсечения и видимость.<br>Степени детализации |
| Визуализация     | Представление объектов                                                                 |

- Визуализация: созданная адаптация модели визуализируется.

Последовательность обрабатывается в рамках неинтерактивного (предварительный просчет) и интерактивного (в оперативном времени) этапов работы приложения. Результатом работы является получение изображения. В таблице показано соответствие этапов последовательности отображения и связанных с ними классов задач.

На основе изложенного метода проектирования авторами была создана система отображения и наблюдения геопространственной сцены «ГеоСОН» [4]. Система позволяет моделировать большое число спутников Земли в оперативном времени и упрощать наблюдение, отображая траектории и зоны покрытия, благодаря выбранному методу проектирования.

**Метод проектирования СОН.** Для проектирования на основе модели необходимо каждому этапу сопоставить те подходы, которые будут использоваться в проектируемой системе, следуя маршруту проектирования (рис. 2).

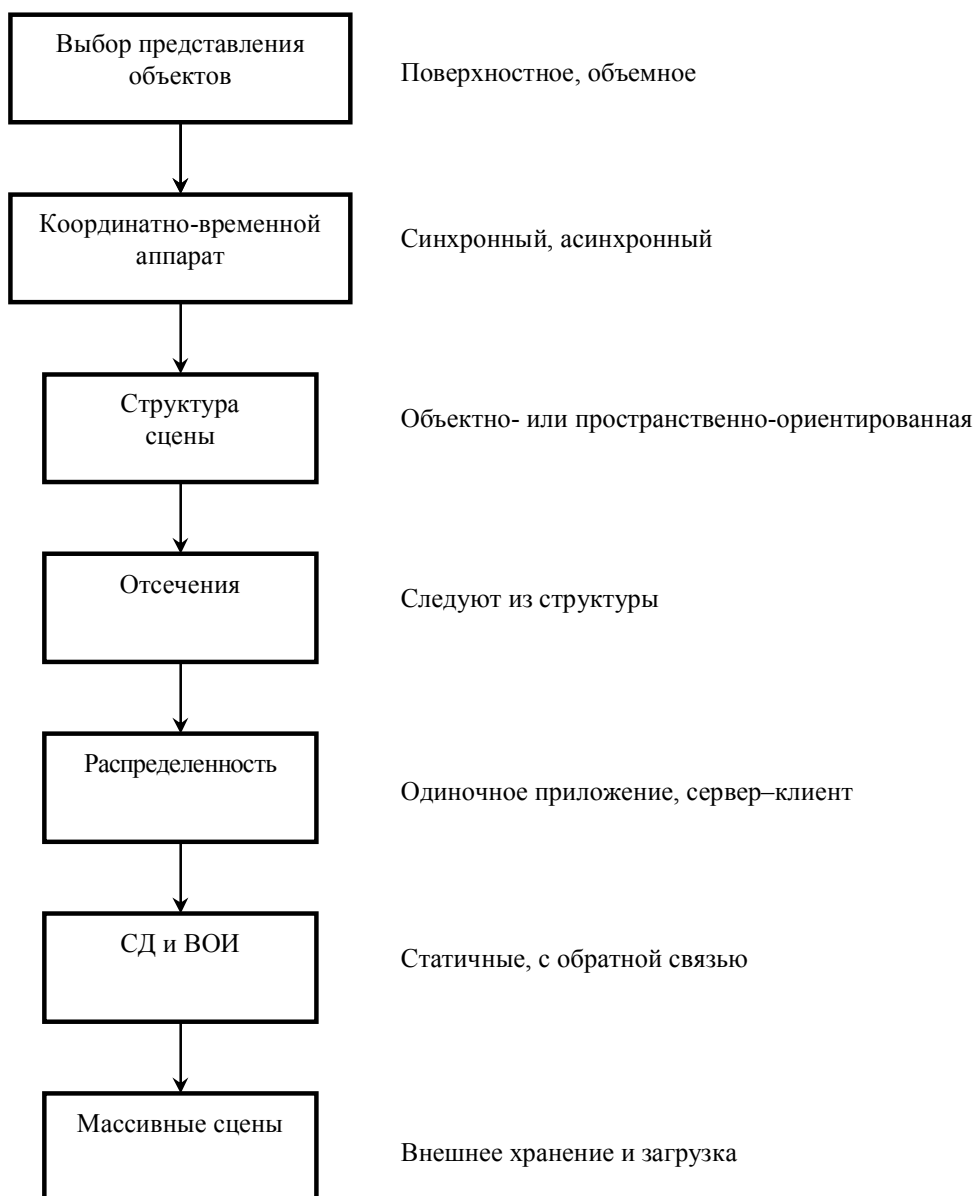


Рис. 2

На иллюстрации показан неполный набор вариантов выбора решений для каждого из этапов. Организовать передачу данных в модели и обработку данных предлагается следуя показанной на рис. 1 последовательности: объектно-ориентированные сущности последовательно (при помощи шаблона проектирования «декоратор») преобразовывают данные, превращая их из исходного описания и поступающей координатной информации в визуализированное изображение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмидт В. К., Горбачевич Ф. Ф. Геопространственные системы отображения и наблюдения // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 2. С. 19–24.
2. Шайтура С. В. Геоинформационные системы и методы их создания. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 1998.
3. Foley J. D. Computer graphics: principles and practice (2nd edition). Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1997.
4. Моделирование и визуализация локальных областей на поверхности Земли при наблюдении со спутника / В. К. Шмидт, Г. Б. Галикеев, Ф. Ф. Горбачевич, А. С. Кудрявцев // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 8. С. 53–57.

*V. K. Schmidt, F. F. Gorbatsevich, A. S. Kudryavtsev*

### *DESIGN METHOD FOR 3D SOFTWARE SYSTEMS OF OBSERVATION AND NAVIGATION*

*Software systems of observation and navigation are examined. Models of such systems and problem classes are mentioned. A design method of these systems is proposed, on the basis of the model.*

**Observation and navigation, geographic information system, geospatial systems, 3D visualization, design of software systems**

УДК 658.512

***В. В. Быков, И. В. Герасимов***

## **НЕЧЕТКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НА КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАУКОЕМКИХ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Рассмотрены основные компоненты, логика и процедурная модель проектирования. Описаны нечеткие математические модели в процедурах на стадии технического задания: определение потребности проектирования, выбор целей проектирования, выявления признаков объекта проектирования.*

**Процедурная модель проектирования, нечеткие математические модели на ранних стадиях проектирования**

Современное проектирование машин характеризуется автоматизацией, системным подходом и оптимизацией. Автоматизация уже стала неотъемлемой частью проектирования. Теперь нет необходимости подразделять его на традиционное (ручное) и автоматизированное. Уместнее судить об уровне автоматизации проектирования в той или иной организации. Система автоматизированного проектирования (САПР) строится на средствах ее обеспечения, взаимосвязь которых представлена на рис. 1.

Как видно из рисунка, система автоматизированного проектирования представлена в виде дерева с ветвями, означающими средства обеспечения системы. Ствол дерева, несущего ветви, отмечен как методическое обеспечение, а корень, питающий дерево, – как методология проектирования. Такое представление САПР не случайно. Методика автоматизированного проектирования, составляющая методическое обеспечение, питает все остальные средства обеспечения, а сама питается благодаря корню. Под методологией проектирования понимается учение о структуре, логической организации, методах и средствах поиска и принятия решений о принципе действия и составе еще не существующего объекта, наилучшим образом удовлетворяющего определенные потребности, а также составление описания, необходимого для его создания в заданных условиях [1]–[6].

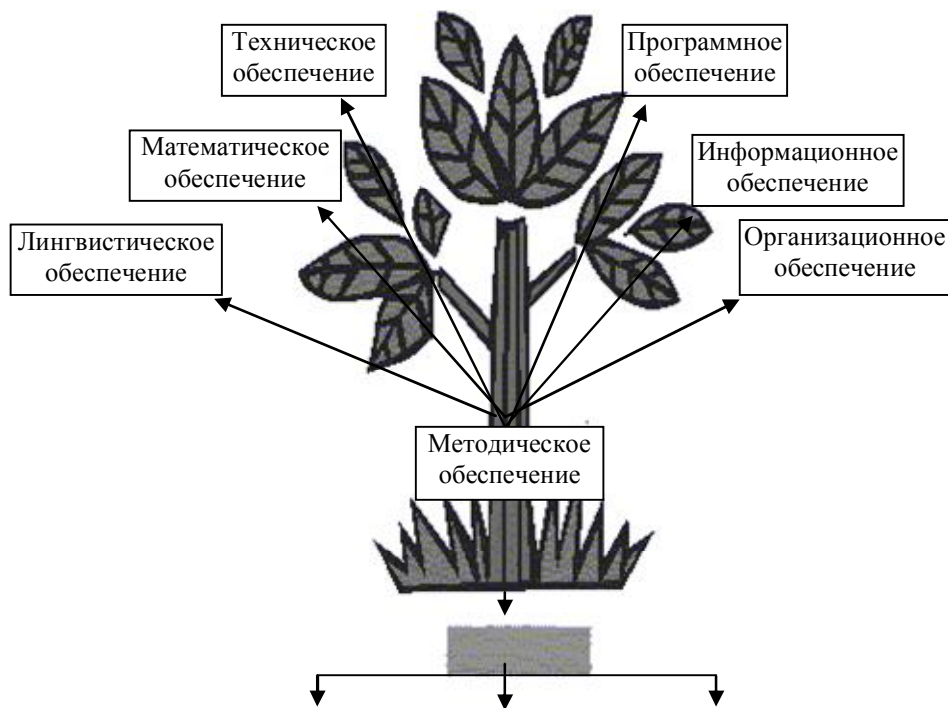


Рис. 1

К настоящему времени достигнуты обширные знания в области проектирования. Пора их систематизировать. Без этого невозможно ни готовить должным образом специалистов, ни повышать уровень автоматизации проектирования. При этом нужно отметить, что знания о том, что надо делать в процессе проектирования, систематизированы и отражены в ЕСКД. Здесь же затрагиваются знания о том, как надо выполнять процедуры проектирования, особенно на ранних его стадиях. Знания становятся системными, если объединяются в теорию.

Теорией знания становятся тогда, когда имеют основополагающую концепцию, основные понятия, аксиомы.

Что же может стать основополагающей концепцией проектирования? Ответ на этот вопрос нужно искать в теории познания. В ходе проектирования познается, а точнее, распознается то, что должно существовать для удовлетворения определенной потребности. Таким образом, отнесение проектирования к **распознаванию** может стать фундаментальным принципом (основополагающей концепцией) системы соответствующих знаний. Традиционно к распознаванию относят определение объекта или явления на основе внешних его признаков. Распознающие системы широко используются в военном деле, в медицине, в геологии. В отличие от этих систем в проектировании распознается не то, что существует, а то, что должно существовать для удовлетворения потребности. Общим для традиционного распознавания и распознавания в проектировании является то, что оба они построены на признаках.

Распознавание при проектировании – многоуровневый процесс. Он характеризуется последовательными этапами, на каждом из которых объект проектирования (ОП) получает описание на языке признаков, образующее некоторое пространство. На каждом этапе это пространство сужается, и поэтому проектирование можно рассматривать как процесс последовательных приближений. Каждый этап характеризуется своим собственным оператором, содержащим анализ и синтез.

Распознавание в проектировании начинается с определения требований к объекту. Они формируются исходя из общественных интересов на разном их уровне. Это могут быть общечеловеческие интересы, интересы государственные, отраслевые, заказчика, проектной организации, личные. В условиях конкурентной борьбы учитываются требования рынка, которые определяют цели проектирования. Для их достижения объект должен обладать соответствующими признаками (свойствами). Поиск вариантов технического решения направляется признаками. Окончательно выбирается вариант, в наибольшей степени отвечающий целям проектирования. Таким образом, основными компонентами проектирования являются [2]:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  – множество целей,

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  – множество признаков,

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  – множество технических решений,

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$  – множество оценок.

Взаимосвязь компонентов проектирования представлена в виде графа на рис. 2.

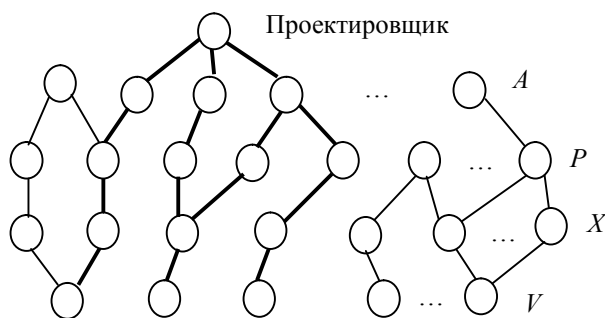


Рис. 2

Элементы множества целей вступают в бинарные отношения с элементами множества признаков. Обозначим это отношение буквой  $\varphi$ . В свою очередь признаки связаны бинарным отношением с вариантами технического решения. Обозначим его буквой  $\psi$ . Установить бинарные отношения  $\varphi$  и  $\psi$  означает указать на те упорядоченные пары декартова произведения, которые находятся в отношении  $\varphi$  и  $\psi$  соответственно:

$$\varphi \subset (A \times P); \quad \psi = (P \times X); \quad A_0 \subseteq A.$$

Здесь  $A_0$  – подмножество целей проектирования, выбранное для конкретного объекта из полного множества.

Пользуясь языком теории множеств, проектирование технической системы можно связать с отображением на множество оценок среза по  $A_0$  произведения бинарного отношения элементов множества целей и множества признаков на бинарное отношение элементов множества признаков и множества технических решений.

На этом основании функцию проектирования можно представить в виде

$$F : (\psi \bullet \varphi(A_0)) \rightarrow V.$$

Оценка вариантов происходит по критериям, отвечающим целям проектирования, и окончательно выбирается тот из них, который в большей степени отвечает этим целям, в чем и проявляется оптимизационный характер данного процесса. На рис. 2 выделен подграф, охватывающий срез полного графа по выбранному подмножеству целей проектирования. Внутри подграфа лежат пути, приводящие к вариантам технического решения.

Логическая схема проектирования представлена процедурной моделью [2] (рис. 3). Она отражает системный подход к этому процессу и является результатом обобщения ранее выполненных исследований в области методологии проектирования и реализации основной концепции, изложенной в статье. В основе процедурной модели лежат этапы, характерные для трудовой деятельности с отсроченной реализацией. Модель дает наглядное представление об основных процедурах проектирования, задачах и методах их решения. Модель согласуется со стадиями разработки согласно ЕСКД.

Распознавание объекта проектирования на стадии технического задания проходит в условиях действия «не» факторов: неполная, нечеткая, неопределенная, недоопределенная информация. Для формализации процедур на этих стадиях проектирования можно воспользоваться нечеткими математическими моделями [1]–[3].

Процедура определения потребности проектирования должна дать ответ на вопросы – действительно ли есть потребность в объекте проектирования и если да, то нужно ли его проектировать? Здесь уместны нечеткие высказывания. Так, можно рассматривать высказывание ( $\tilde{Y}$ ) «надо проектировать» как составное, состоящее, например, из следующих элементарных ( $\tilde{Y}_i$ ):

$\tilde{Y}_1$  – технический объект имеется в нашей стране;

$\tilde{Y}_2$  – технический объект имеется за рубежом;

$\tilde{Y}_3$  – можно отказаться от объекта;

$\tilde{Y}_4$  – от применения нового объекта достигается эффект;

$\tilde{Y}_5$  – можно приобрести объект за рубежом.

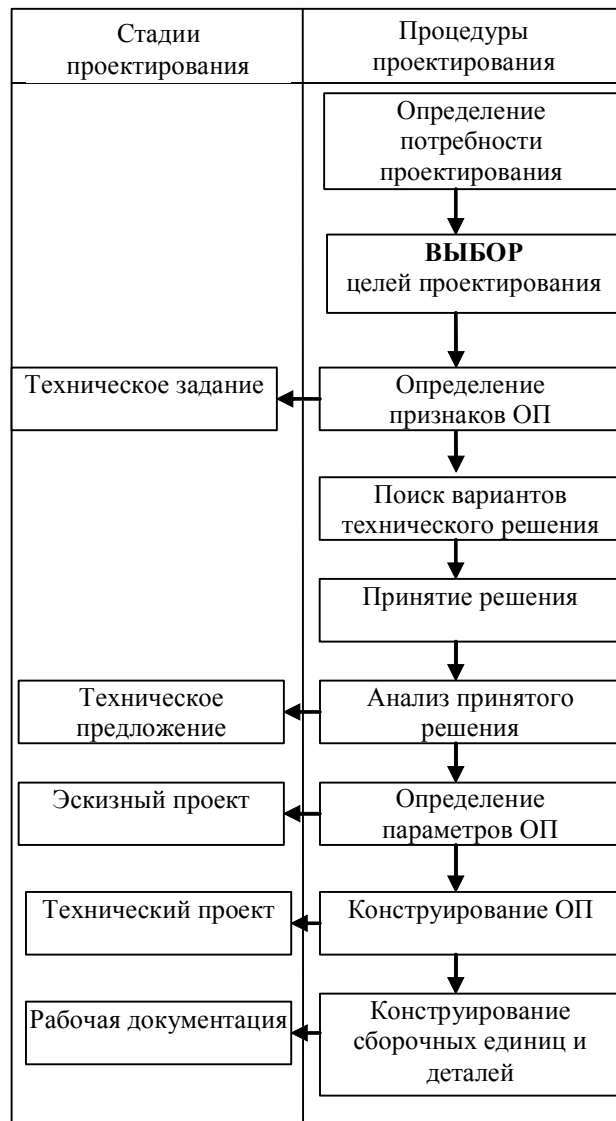


Рис. 3

Формула составного высказывания, определяющая потребность в проектировании, имеет вид

$$\tilde{Y} = \neg \tilde{Y}_1 \wedge \neg \tilde{Y}_3 \wedge \neg \tilde{Y}_4 \wedge \neg (\tilde{Y}_5 \wedge \tilde{Y}_2). \quad (1)$$

Приведенные ранее высказывания будем рассматривать как нечеткие со степенью истинности  $\mu$ , находящейся в замкнутом интервале  $[0, 1]$ . Чем больше значение  $\mu$ , тем выше степень истинности высказывания. При  $\mu = 1$  высказывание четко истинно, при  $\mu = 0$  – четко ложно. Пусть, например, степень истинности элементарных высказываний соответственно следующая:  $\mu(\tilde{Y}_1) = 0,3$ ;  $\mu(\tilde{Y}_2) = 1$ ;  $\mu(\tilde{Y}_3) = 0,4$ ;  $\mu(\tilde{Y}_4) = 0,9$ ;  $\mu(\tilde{Y}_5) = 0,2$ . Это означает, что высказывание  $\tilde{Y}_1$  – скорее ложно, чем истинно,  $\tilde{Y}_2$  – четко истинно,  $\tilde{Y}_3$  – скорее ложно, чем истинно,  $\tilde{Y}_4$  – скорее истинно, чем ложно,  $\tilde{Y}_5$  – скорее ложно, чем истинно. Степень истинности сложного высказывания найдем по формуле (1), учитывая отрицание и то, что все входящие в нее высказывания связаны логическими операторами конъюнкции. В этом случае  $\mu(\neg \tilde{Y}_i) = 1 - \mu(\tilde{Y}_i)$ ;  $\mu(\tilde{Y}_i; \tilde{Y}_j) = \min(\mu(\tilde{Y}_i); \mu(\tilde{Y}_j))$ . В итоге –  $\mu(\tilde{Y}) = 0,6$ , что означает – сложное высказывание скорее истинно, чем ложно, т. е. проектировать нужно. Программная поддержка процедуры определения потребности проектирования должна помочь пользователю установить степень истинности элементарных высказываний. Это достигается обращением к базе знаний в конкретной предметной области, включающей: базу данных по существующим объектам, перспективам развития предметной области, программы для определения экономической эффективности создания или импорта новой техники.

В процедуре определения целей проектирования должны быть учтены требования к объекту проектирования, выдвигаемые заказчиком и диктуемые общественными интересами, в том числе личными, проектной организации, соответствующей отрасли, государственными, общечеловеческими. Цели неравнозначны. Одни из них должны быть достигнуты обязательно, другие желательны, некоторыми можно пренебречь. Важность целей можно установить по функции принадлежности к некоторому нечеткому подмножеству:

$$\tilde{A}_0 = \left\{ \left\langle \mu_{\tilde{A}_0}(a)/a \right\rangle \right\}; \quad a \in A,$$

где  $A$  – базовое множество целей проектирования в конкретной предметной области;  $\tilde{A}_0$  – подмножество «важные цели»;  $a$  – элемент множества целей;  $\left\langle \mu_{\tilde{A}_0}(a)/a \right\rangle$  – функция принадлежности цели  $a$  нечеткому подмножеству  $\tilde{A}_0$ .

Для определения функции принадлежности воспользуемся методом попарных сравнений [5], используя шкалу, представленную в таблице. Здесь количественные оценки 1, 3, 5, 7, 9 отвечают соответствующим качественным оценкам, а оценки 2, 4, 6, 8 присваиваются в промежутках качественных оценок.

| Количественная оценка | Качественная оценка | Примечание |
|-----------------------|---------------------|------------|
|-----------------------|---------------------|------------|

|          |                                                 |                                                                                          |
|----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Одинаковая значимость                           | Цели имеют одинаковую значимость                                                         |
| 3<br>1/3 | Слабое превосходство.<br>Слабая уступка         | Соображения о предпочтении одной цели над другой малоубедительны                         |
| 5<br>1/5 | Очевидное превосходство.<br>Очевидная уступка   | Существует убедительное свидетельство о превосходстве одной цели над другой              |
| 7<br>1/7 | Сильное превосходство.<br>Сильная уступка       | Имеется надежное доказательство существенного превосходства одной цели над другой        |
| 9<br>1/9 | Абсолютное превосходство.<br>Абсолютная уступка | Свидетельство в пользу предпочтения одной цели перед другой в высшей степени убедительно |

В результате будет построена матрица

$$\bar{M} = \|c_{ij}\|, c_{ij} \in \{1, 2, \dots, 9\}, c_{ji} = 1/c_{ij},$$

где  $c_{ij}$  – количественная оценка значимости для проектирования цели  $i$  по сравнению с целью  $j$ .

Составляющие собственного вектора этой матрицы могут быть приняты за значения функции принадлежности [5] при условии, что они имеют относительное значение, т. е.

$$\sum \mu'_{A_0} = 1.$$

Абсолютные значения функции принадлежности для элементов подмножества  $\tilde{A}_0$  можно найти разделив их относительные значения на большее из них.

Программная поддержка определения целей проектирования обращением к базе знаний представит пользователю базовое множество целей проектирования в конкретной предметной области, поможет ему установить подмножество целей применительно к конкретному объекту проектирования, оценить важность целей внутри этого подмножества.

Под признаками объекта проектирования понимаются свойства, отличающие его от других объектов и определяющие его качество. В связи с этим уместно под признаками понимать показатели качества. Полное их множество охватывает все стороны создаваемого объекта и характеризует: назначение, надежность, технологичность, безопасность работы и обслуживания, эргономичность, эстетичность, экологичность, патентную защиту и чистоту, условия эксплуатации, технический уровень, экономичность.

Цели проектирования и признаки вступают в бинарные отношения. Описание, включающее цели и признаки, является концептуальным. Оно сводится к построению подмножества признаков, элементы которого вступают в бинарные отношения с элементами подмножества целей ( $\tilde{A}_0$ ).

Соответствие признаков целям проектирования нечетко, поэтому образом  $\tilde{A}_0$  в  $P$  будет нечеткое подмножество признаков  $\tilde{P}_0$ , определяемое выражением

$$\tilde{P}_0 = \left\{ \left\langle \mu_{\Gamma(A_0)}(p) / p \right\rangle \right\}, p \in P,$$

где  $\mu_{\Gamma(A_0)}(p) = \vee (\mu_{A_0}(a) \wedge \mu_F \langle a, p \rangle)$ ,  $a \in A_0$ ;  $\mu_F \langle a, p \rangle$  – функция принадлежности  $a$  и  $p$  нечеткому графику соответствия.

Признаки ОП, как и цели проектирования, следует ранжировать по важности. Для этого в  $\tilde{P}_0$  выделим классы  $(\tilde{P}_0^i)$  нечеткого покрытия, каждый из которых объединяет образы элементов  $A_0$ .

В обозначении  $\tilde{P}_0^i$   $i$  – номер цели в ранжированной последовательности по важности.

Внутри каждого класса элементы расставляются в порядке убывания  $\mu_{\tilde{A}(A_0)}(p)$ , а затем классы объединяются с соблюдением порядка по  $i$ .

Программная поддержка процедуры определения признаков объекта проектирования заключается в обращении к базе знаний, содержащей множество признаков, характеризующих объекты в конкретной предметной области, в выборе признаков, отвечающих целям проектирования, в установлении важности признаков.

Установить признаки объекта на данном этапе проектирования еще не означает выбрать его конструктивное решение. Признаковое пространство довольно широко и может включать множество вариантов.

Цели и признаки как концептуальное описание объекта проектирования включаются в техническое задание.

Сведение знаний о проектировании в теорию, содержащую основополагающий принцип, основные понятия и аксиомы, со временем может стать базой для подготовки специалистов и для дальнейшего продвижения автоматизированного проектирования на ранние стадии. Тем самым усиливается значение предпроектных исследований и концептуального этапа проектирования. Без этого невозможно обеспечить полный цикл генерации и трансформации знаний в инновационные технические решения на всех стадиях жизненного цикла продукции. Ранние стадии проектирования находятся под воздействием многочисленных «не» факторов. В этих условиях для создания автоматизированного проектирования в методическом, математическом и программном его обеспечении полезно применение нечетких математических моделей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евгеньев Г. Б. Интеллектуальные системы проектирования: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
2. Быков В. П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1989.
3. Малышев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженко А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Быков В. П., Быков В. В. Экспертная система для поиска вариантов технического решения в машиностроении // Вестник машиностроения. 2002. № 9. С. 66–69.
5. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1990.
6. Концептуальные основания комплементарного проектирования наукоемких объектов техники и технологии / И. В. Герасимов, С. А. Кузьмин, А. В. Никитин, Д. Ндайонгеже // Всерос. конф. с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации», Ульяновск, 1–5 дек. 2009 / УлГТУ. Ульяновск, 2009. С. 9–16.

*Methodology of design is a basis of integrated CAD system. Descriptions of components, processing logic and procedural of mechanical design. Fuzzy mathematical models on requirements specification stage of design process: selection of design requirements, choice of purposes of design, detection design object characters.*

**A procedural model of designing, fuzzy mathematical models at early stages of designing**

УДК 37.014.1

*А. В. Горячев*

## ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В САПР

*Рассмотрены проблемы формирования архитектуры подсистемы управления проектами в САПР. Предложен вариант архитектуры подсистемы управления проектами на основе портового решения.*

**САПР, совместная работа, ресурсы САПР, управление проектами, управление рисками, управление ресурсами, документы**

Проектная деятельность в той или иной форме присутствует практически в любой компании. Все больше компаний осознают сложность задач проектного управления и выделяют проектную деятельность в качестве важной, специфической части своего бизнеса. Системы управления проектами обеспечивают автоматизированное планирование проектов и ресурсов, управление проектными командами, отслеживание хода исполнения проектов, формирование управленческой отчетности и контроль финансовой составляющей проектов, хранения сопутствующей документации [1].

Проектирование – это один из наиболее сложных видов интеллектуальной работы, выполняемой человеком. Процесс проектирования сложных объектов, таких, как ИТ-инфраструктура предприятия, не под силу одному человеку и выполняется творческим коллективом. Это, в свою очередь, делает процесс проектирования еще более сложным и трудно поддающимся формализации. На рис. 1 показана диаграмма в нотации IDEF3 для описания процесса проектирования ИТ-инфраструктуры.

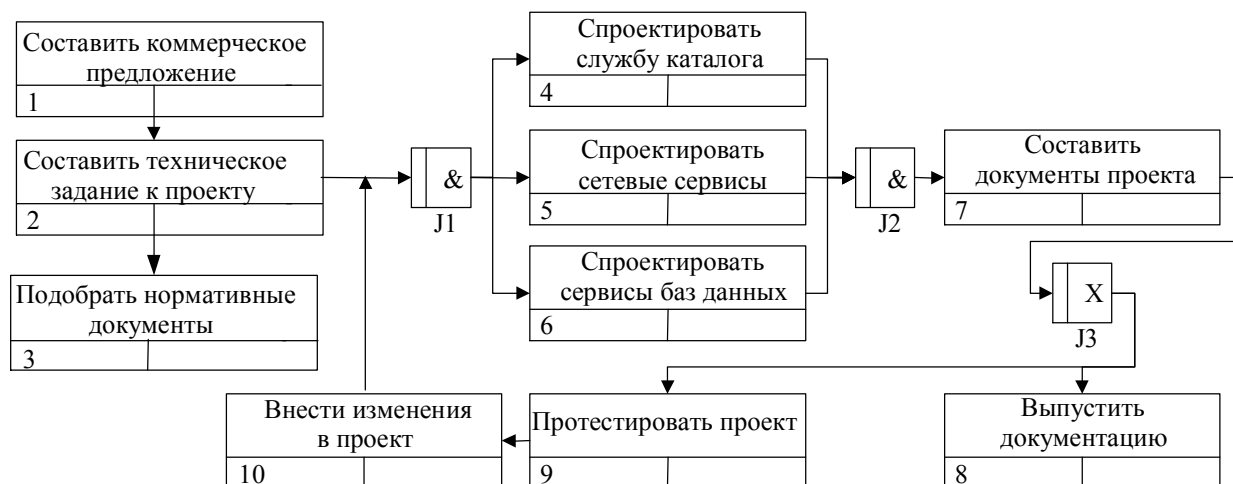


Рис. 1

Внедрение системы автоматизированного управления проектами помогает решить следующие задачи:

1. Получить возможность эффективного календарного планирования по всем проектам.
2. Оптимизировать процедуру контроля исполнения календарных планов.
3. Повысить эффективность прогнозирования работ по всем проектам.
4. Увеличить эффективность использования ресурсов в рамках контрактных проектов компании.

В процессе проектирования ИТ-инфраструктуры также часто возникает необходимость формировать отчеты в соответствии с корпоративными стандартами и с учетом корпоративного стиля проектной отчетности. Если раньше отчеты по проектам формировались вручную сотрудниками и руководителями проектов, то с внедрением подсистемы управления проектами достигаются следующие практические результаты:

- существенно сокращается время подготовки периодических отчетов по проектам;
- все отчеты по проектам выполняются в рамках корпоративных стандартов;
- обеспечивается хранение архива всех отчетов с возможностью их редактирования и удаления.

Схема внедрения подсистемы управления проектами показана на рис. 2.

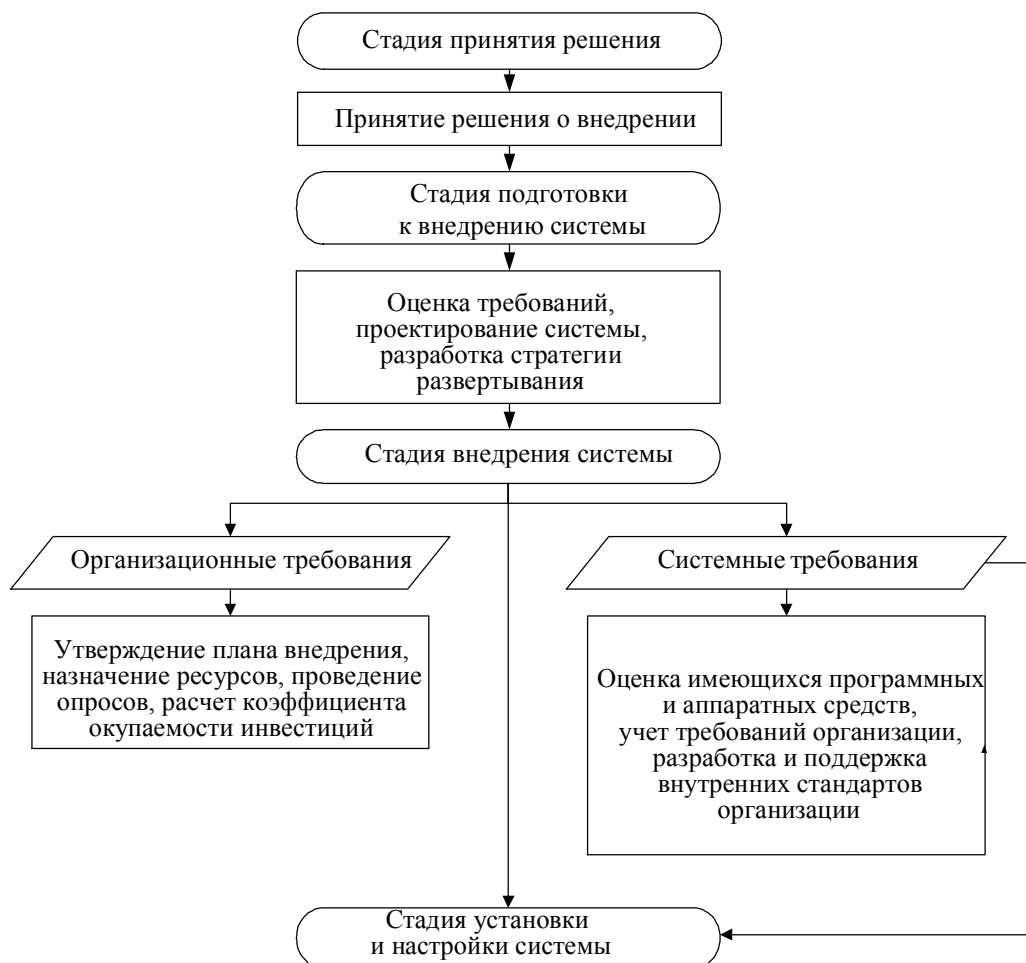


Рис. 2

Классификация и типизация проектов позволяют анализировать развитие направлений деятельности предприятий. Создание единого пула ресурсов и работа проектных команд в единой информационной системе автоматизируют процедуры постановки задач, отчетности по результатам, совместной работы с документами и вопросами проекта.

Создание показателей отслеживания хода проектов и построение системы проектной отчетности предоставляет руководству эффективный инструмент для оперативного анализа проектов и принятия решений.

Успешность внедрения системы управления проектами зависит от точности анализа и четкого понимания бизнес-требований предприятия. Если фирма заинтересована в снижении рисков, уменьшении денежных затрат и увеличении производительности, то разрабатываемая система необходима для эффективного достижения поставленных целей.

На рис. 3 представлена архитектура подсистемы управления проектами. Доступ пользователей к данным по проектам и ресурсам, хранящимся на сервере Project Server, обеспечивается с

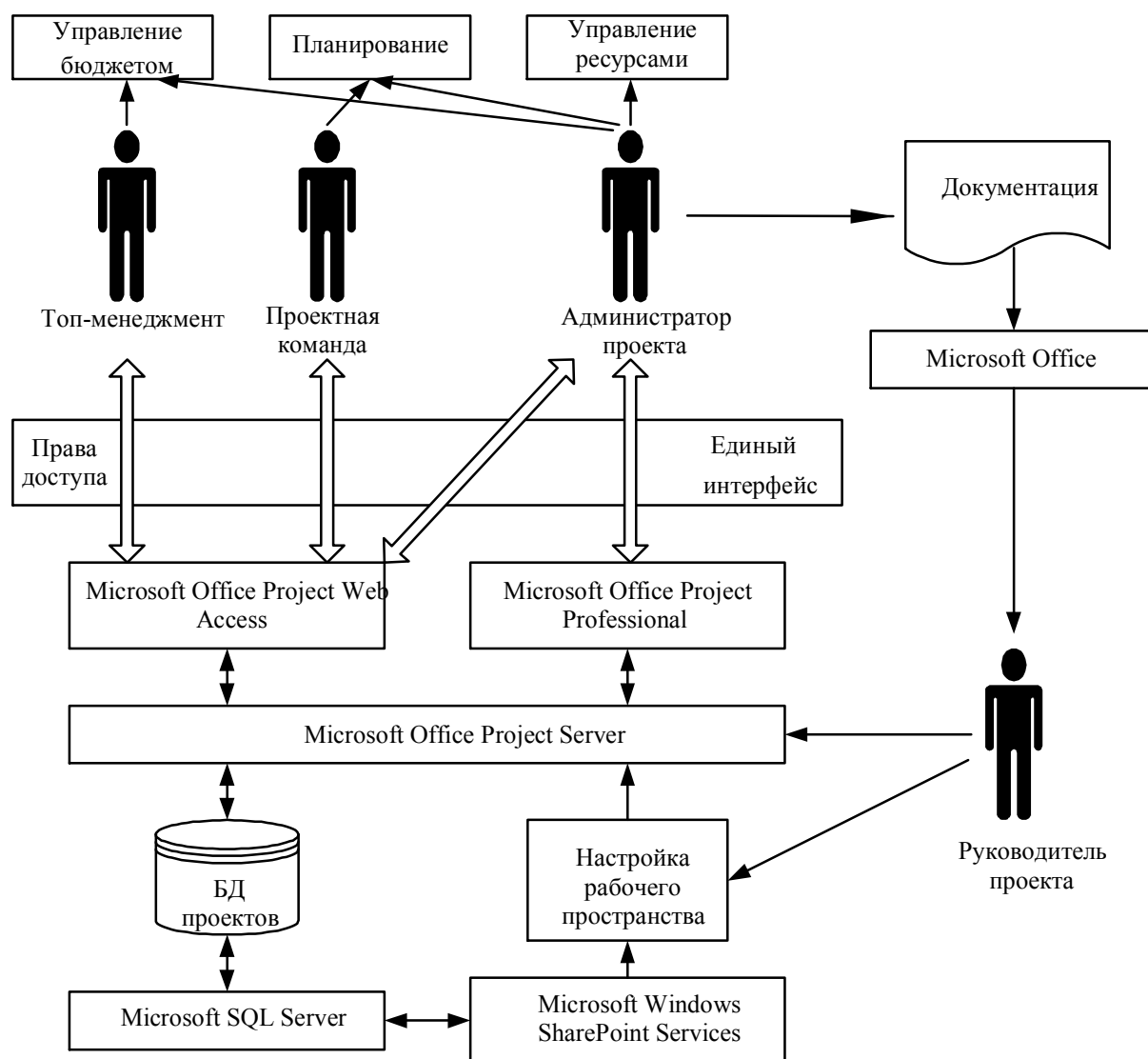


Рис. 3

помощью Web-браузера [2]. Также в представленной архитектуре отражены общие функциональные особенности корпоративной системы управления проектами. Их можно расширить следующими возможностями:

1. Управление портфелем проектов.
2. Отчетность.
3. Создание и использование шаблонов проектов.
4. Управление ресурсами.
5. Согласование проектных документов.
6. Поддержка документооборота проектов.
7. Подготовка и проведение совещаний.
8. Совместное использование и интеграция.
9. Безопасность.

Подсистема коллективной работы над проектами обеспечивает защищенный персонифицированный web-интерфейс, посредством которого уполномоченные сотрудники компании имеют доступ к требуемой им информации и приложениям в соответствии с правами разграничения доступа по корпоративной сети компании для обеспечения задач корпоративного управления и автоматизации бизнес-процессов.

В процессе проектирования сложного изделия проектировщику постоянно требуется оперативно находить множество электронных форм документов и обмениваться ими. Подготовка документации является неотъемлемой частью любой системы автоматизированного проектирования. Цель САПР – подготовить пакет документов и спецификаций. Обозначим множество этих документов  $G$ . Природа документов, входящих в данное множество, может быть весьма разнообразной и зависит, главным образом, от типа проектируемого объекта.

Помимо множества спецификаций  $G$  в процессе автоматизированного проектирования, как и в любой другой проектной деятельности, создается множество документов, играющих хоть и вспомогательную, но очень важную роль. Обозначим множество этих документов  $T$ . К таким документам относятся: наброски, рисунки, эскизы создаваемых объектов, служебные документы, письма, документы, связанные с покупкой комплектующих элементов, и т. д. И хотя теоретически эти множества не пересекаются, т. е.  $G \cap T = \emptyset$ , в реальном проектировании многие экземпляры множества  $T$  путем сложных преобразований, выполняемых проектировщиком и автоматизированными проектными процедурами, превращаются в элементы множества  $G$ .

Эти превращения осуществляются в ходе разработки проекта коллективом проектировщиков на основе их знаний и опыта. Таким образом, в процессе автоматизированного проектирования осуществляется преобразование  $P: I \times D \times K \rightarrow G$ , где  $P$  – типовые проектные процедуры создания, преобразования и управления документами;  $I$  – исходная спецификация;  $D$  – постоянная справочная информация, хранящаяся в базе данных проектов;  $K$  – инженерные знания в конкретной области проектирования. Процесс автоматизированного проектирования – это работа коллектива специалистов по созданию нового, не существовавшего ранее объекта. Объект же проектирования может быть настолько сложным, что один человек создать его не в состоянии. Следовательно, для организации обмена документами из множества  $T$  в процессе проектирования коллективу проектировщиков необходимо инструментальное средство, обеспечивающее удобную и безопасную коллективную работу. Кроме того, необходима организация надежного и удобного хранилища для представления документов множества  $G$ .

Процесс внедрения корпоративного стандарта управления проектами (КСУП) состоит из нескольких этапов: обследования, разработки корпоративного стандарта, внедрения и создания офиса управления проектами. Каждый этап можно разбить на типовые процедуры с формированием определенного набора документов. В таблице представлен процесс создания корпоративного стандарта управления проектами в САПР.

| Этап создания стандарта                   | Типовые процедуры                                                    | Результирующие документы и услуги                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обследование проектной организации        | 1. Подготовка организационных документов                             | Организационная документация (устав проекта, календарный и сетевой графики, оценка рисков, контрольные списки качества результатов проекта)                                                                   |
|                                           | 2. Обследование бизнес-процессов управления проектами                | Отчет о проблемах и возможностях улучшения процессов                                                                                                                                                          |
| Разработка корпоративного стандарта       | 3. Формирование глоссария по управлению проектами                    | Глоссарий терминов по управлению проектами                                                                                                                                                                    |
|                                           | 4. Разработка регламентирующей документации по управлению проектами  | Регламенты по управлению проектами, рисками, качеством, коммуникациями, человеческими ресурсами. Рекомендации. Должностные инструкции                                                                         |
|                                           | 5. Разработка шаблонов документов                                    | Шаблон устава проектов, шаблон плана управления проектом                                                                                                                                                      |
|                                           | 6. Разработка шаблонов проектов                                      | Шаблоны проектов                                                                                                                                                                                              |
|                                           | 7. Разработка инструкций                                             | Инструкции, руководства пользователя                                                                                                                                                                          |
| Внедрение                                 | 8. Внедрение новых бизнес-процессов. Обучение. Пилотная эксплуатация | Учебно-методические материалы, необходимые для изучения инструментальных средств управления проектами. Учебно-методические материалы, необходимые для изучения методик использования корпоративного стандарта |
|                                           | 9. Методологическая поддержка и аудит                                | Управление знаниями и совершенствование бизнес-процессов                                                                                                                                                      |
| Создание офиса управления проектами (ОУП) | 10. Создание офиса управления проектами                              | Рекомендации по созданию ОУП                                                                                                                                                                                  |
|                                           |                                                                      | Документация по работе с ОУП                                                                                                                                                                                  |
|                                           |                                                                      | Обучение сотрудников работе с ОУП                                                                                                                                                                             |

Внедрение системы управления проектами позволяет:

1. Повысить информационную прозрачность управления проектами – руководство имеет возможность четко отслеживать этапы проекта, отклонения фактических параметров от плановых.
2. Оптимизировать документооборот по проектам.
3. Повысить обоснованность решений о распределении ресурсов между проектами – возможность четко отследить, в каких проектах заняты сотрудники, каков резерв их свободного времени для использования, что позволяет эффективно планировать выделение персонала на проекты.
4. Увеличить прозрачность управления проектами, что позволит более оперативно реагировать на запросы заказчиков, так как можно формировать команду исполнителей под конкретные проекты.

5. Уменьшить затраты времени на внутренние коммуникации между членами проектной команды, что позволит увеличить производительность проектных работ.

Эффективная организация совместной работы участников проекта достигается за счет инструментов управления задачами и проектами, удобной организации информации и доступа к ней, средств контроля исполнения задач и анализа выполненной работы. Подробное описание инструментальных средств работы с документами на основе порталных решений представлено в [3].

Наличие в Project удобного графического интерфейса, возможность использования разнообразных диаграмм и наличие средств коллективной работы над проектами позволяет сформировать на его основе подсистему управления проектами в САПР инфраструктурных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов В. Управление проектами в Microsoft Project 2007. СПб.: Питер, 2007.
2. Microsoft Office Project 2007. Библия пользователя. / Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008.
3. Горячев А. В., Касасбех З. Применение портала знаний для организации процесса автоматизированного проектирования // Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб., 27-29 июня 2006. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. Т. 2. С. 91–94.

*A. V. Goryachev*

#### *PROJECT MANAGEMENT SUBSYSTEM IN CAD SYSTEM*

*The problems of creation CAD Project Management subsystem architecture are considered.  
Creation portal-based method of architecture is offered.*

**Computer-aided design system, collaboration, CAD system resources, project Management, risk management, resource management, documents**

УДК 37.014.1

*Н. Е. Новакова*

### **КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ САПР**

*Рассмотрены проблемы описания предметных областей САПР. Представлены методы концептуального описания ИТ-инфраструктуры.*

**САПР, семантическая модель, процесс проектирования, представление знаний, ИТ-инфраструктура**

Создание автоматизированной системы проектирования для такой сложно-структурируемой предметной области, как ИТ-инфраструктура, возможно лишь моделированием всех аспектов, характеризующих процесс формирования инфраструктурных решений и способы управления этим процессом. В связи с этим конечной целью концептуального анализа предметной области, выделения ее базовых компонентов, отражающих существенные стороны и особенности объекта и процесса проектирования, и формирования на этой основе понятийного аппарата является разработка формальной смысловой модели, адекватной основным аспектам проектной деятельности, позволяющей оперировать инженерными знаниями [1].

Первым этапом разработки семантической модели предметной области на основе онтологического подхода является выбор метода представления инженерных знаний, который определяет форму описания фактов и закономерностей предметной области. По способам

организации знаний и их обработки различают следующие основные группы методов представления: логические, продукционные, сетевые, фреймовые [2].

Опыт разработки систем, основанных на использовании информационной технологии инженерии знаний, показывает, что формальное представление смысловой модели должно максимально отражать естественную структуру понятий и суждений, образующих мысленный образ предметной области в сознании проектировщика, раскрывать суть решаемых задач. В связи с этим именно организация знаний специалиста в данной предметной области должна определять формальные механизмы их представления. Однако исследования показывают, что знания практически всегда представляются одной из рассмотренных ранее моделей в целях упрощения их обработки, понимания, верификации и пополнения.

Планирование маршрута проектирования, прогнозирование и оценка свойств объекта проектирования, анализ проектных решений и т. п. представляют собой различные функциональные аспекты деятельности, образуя своего рода «срезы» единой системы знаний конструктора, каждый из которых характеризуется собственными условиями, целями, способами осуществления. Выделение взаимосвязей между компонентами предметной области и формализация их в виде множества семантических отношений позволяют осуществлять содержательную декомпозицию инженерных знаний данной предметной области.

В целях обеспечения соответствия системы представления инженерных знаний в системе моделирования структуре и семантическому содержанию знаний предлагается организация смысловой модели предметной области проектирования ИТ-инфраструктуры в виде системы рабочих моделей, организованных на основе определенных семантических отношений и описывающих отдельные аспекты проектирования и взаимосвязи между ними.

Рассмотрим основные виды рабочих моделей, используемые при построении смысловой модели предметной области проектирования ИТ-инфраструктуры:

1. Рабочие модели, отражающие структуру понятий одного вида объектов и свойств.

Структура понятий определяется установлением между ними теоретико-множественных отношений. Задание на множестве понятий отношения «целое – часть» определяет иерархию рассматриваемого множества. Так, в задачах проектирования службы каталога семантическим отношением «целое – часть» связаны понятия «Лес – Дерево, Дерево – Домен, Домен – Подразделение (Организационная единица)» (рис. 1).

Рабочая модель качества объекта  $X$  есть теоретико-множественное отношение «целое – часть»  $R_{цч}^T$ , заданное на конечном множестве свойств  $Q_x = \{q_1, \dots, q_n\}$ , представляющем собой проектное описание объекта  $X$ :

$$M_k = \langle Q_x, R_{цч}^T \rangle.$$

Семантика этой модели заключается в том, что она создает многоуровневую древовидную структуру свойств объекта, отражая иерархию качественных и количественных компонентов описания  $Q_x$ . Каждое

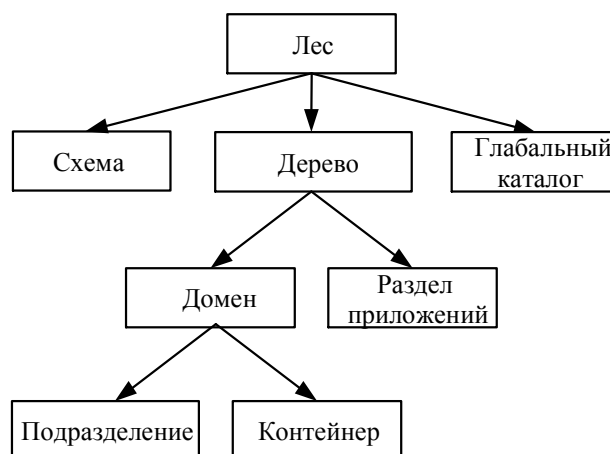


Рис. 1

свойство  $k$ -го уровня иерархии представляется комбинацией свойств  $(k-1)$ -го уровня, если таковые имеются, так что

$$\forall q^{k-1} \in Q_x \quad R_{\text{ЦЧ}}^T(q^k, q^{k-1}).$$

Каждая ветвь дерева объединяет в группы те свойства, которые отражают качество проектных решений на различных стадиях процесса проектирования. Группу показателей качества составляют свойства проектных решений, значения которых определяются и контролируются в процессе проектирования на этапах создания службы каталога, базовых сетевых сервисов, сетевой инфраструктуры.

На отдельном иерархическом уровне взаимосвязь понятий определяется заданием теоретико-множественного отношения «род – вид». Это отношение характеризует классы понятий, образованных по определенному классификационному признаку. Рабочие модели на основе отношения «род – вид» представляют собой таксономические структуры каналов связи (рис. 2).

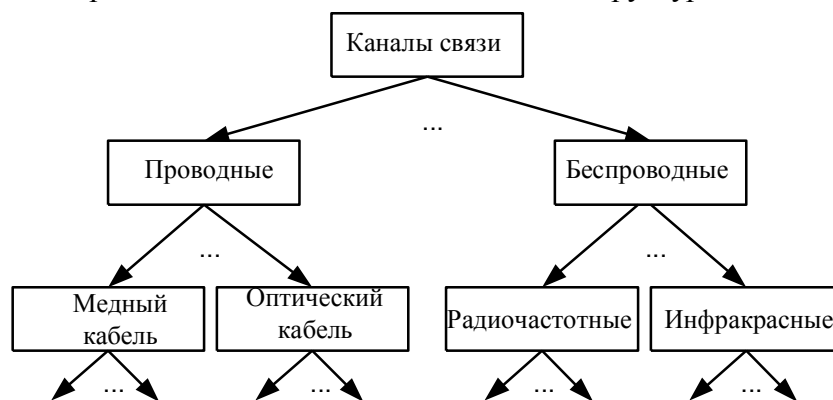


Рис. 2

## 2. Рабочие модели, описывающие одни понятия через другие.

Задача идентификации объектов, представленных понятиями, решается установлением соответствия между объектами и проектными описаниями. Это соответствие определяется заданием на множествах объектов и проектных описаний характеристических отношений «иметь проектное описание». Учитывая, что проектное описание есть совокупность  $n$  отдельных свойств, данное отношение представляется объединением  $n$  характеристических отношений «иметь свойство» (рис. 3).

## 3. Рабочие модели, связывающие проектные описания с проектными данными.

Обобщенное проектное описание объекта включает совокупность характеризующих его свойств. В ходе проектирования свойства принимают конкретные значения, образуя атрибутивное описание объекта, необходимое и достаточное для его изготовления и эксплуатации. Рабочие модели на основе квантифицирующих отношений ставят в соответствие множеству понятий смысловой модели знаний множество конкретных проектных данных, содержащихся в оперативной памяти компьютера и базе данных САПР. В зависимости от характера описаний квантифицирующие отно-

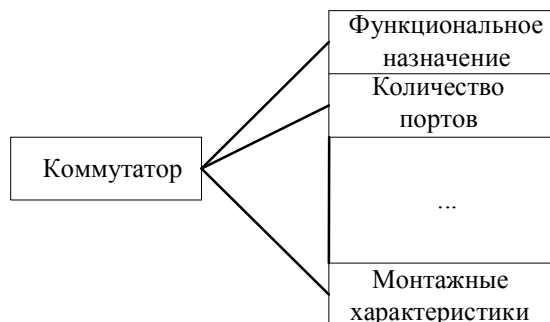


Рис. 3

шения ставят в соответствие конкретному свойству объекта «Коммутатор» лингвистическое значение (отношение «иметь лингвистическое значение») (рис. 4) или числовое значение (отношение «иметь числовое значение») (рис. 5).

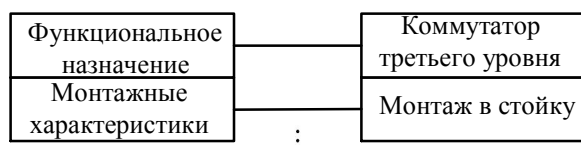


Рис. 4

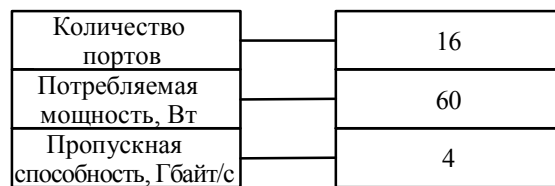


Рис. 5

#### 4. Вычислительные рабочие модели.

Состав информации, хранящейся в ходе проектирования в оперативной памяти компьютера и базе данных САПР, определяется необходимостью ее наиболее эффективного использования с точки зрения занимаемого объема памяти, быстродействия вычислительных процессов и т. п. В связи с этим отдельные характеристики объектов не хранятся в памяти, а вычисляются по мере необходимости на основе известных значений свойств с использованием вычислительных рабочих моделей.

Значения характеристик объекта проектирования определяются заданием на множестве свойств объекта арифметических и логических отношений. Арифметические отношения связывают свойства, имеющие количественные, а логические – лингвистические значения.

Вычислительная рабочая модель свойств предназначена для формализации и представления вычислительных процедур определения значений свойств, входящих в модель качества объекта проектирования

$$M_B = \langle Q_x, R^L, R^A \rangle,$$

где  $Q_x$  – проектное описание объекта  $X$ ;  $R^L, R^A$  – соответственно логические и арифметические отношения, связывающие свойства проектного описания  $Q_x$ . Отношения содержат сведения о взаимной зависимости свойств и используются для вычисления их значений. Вычислительная модель свойств позволяет логически структурировать свойства проектных решений, упорядочить процесс их вычислений, устранить избыточность и неопределенность свойств.

#### 5. Корреляционные модели.

Рассмотренные ранее типы отношений и рабочие модели на их основе в трактовке теории четких отношений используются при качественном анализе взаимосвязей между элементами предметной среды, когда эти взаимосвязи носят дихотомический характер и могут быть интерпретированы в терминах «связь отсутствует», «связь присутствует», либо когда меры количественного анализа взаимосвязей по каким-либо причинам неприменимы и взаимосвязи искусственно приводятся к дихотомическому виду. Этого недостатка лишены методы анализа, основанные на теории нечетких отношений, которые позволяют производить качественный анализ систем с учетом различия в силе связей между анализируемыми элементами.

Корреляционные модели определяются заданием на множестве высказываний, описывающих состояние предметной области, нечетких каузальных отношений «причина – следст-

вие». Логико-эмпирический анализ закономерностей проектирования ИТ-инфраструктуры показывает, что одним из наиболее эффективных способов формального представления этого отношения является семантическая сеть (рис. 6), где  $\mu(i, j) \in [0, 1]$  – степень принадлежности пары «Высказывание  $i$  – высказывание  $j$ » нечеткому отношению. Нечеткость каузальных отношений отражает неполноту знаний проектировщика, а также не полностью вербализуемый характер его рассуждений, сводящийся к сопоставлению причины и следствия без объяснения промежуточных звеньев рассуждений.

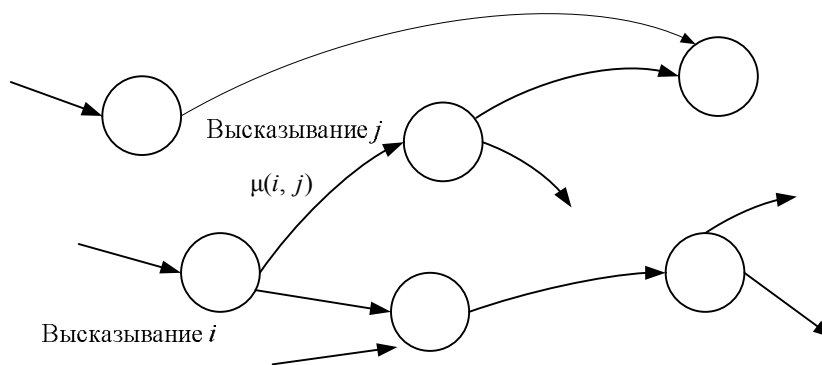


Рис. 6

Сложность объектов проектирования ИТ-инфраструктуры, многообразие их характеристик обуславливают корреляцию свойств на различных этапах проектирования. В настоящее время не существует исчерпывающего формального описания влияния свойств объекта проектирования друг на друга, вследствие чего в процессе разработки математического обеспечения современных САПР используются эвристические правила, лишь косвенно учитывающие факты подобного влияния.

Рассмотрим способ прогнозирования результатов проектных операций на основе семантической сети, вершины которой соответствуют показателям качества проекта, а дуги отражают факт влияния одного свойства на другое, являясь графической интерпретацией семантического отношения «влияет». Существенным, однако, является не сам факт влияния, а изменение значения свойства в зависимости от изменения значений других свойств, причем подобные связи не являются четкими. В связи с этим предлагается формальная корреляционная модель свойств, использующая аппарат нечетких отношений

$$M_{\zeta} = \langle Q^k, R_{\sim}^k \rangle,$$

где  $Q^k$  – множество свойств объекта проектирования;  $R_{\sim}^k$  – нечеткое каузальное отношение на множестве  $Q^k$ . Семантика этой модели состоит в том, что если  $u_i = (q_i, z_i)$  и  $u_j = (q_j, z_j)$ , так что  $(q_i, q_j) \in Q, i \neq j$  и  $(z_i, z_j)$  – значения свойств  $q_i, q_j$ , то каждой паре  $(u_i, u_j)$  ставится в соответствие число  $\mu(u_i, u_j) \in [0, 1]$ , характеризующее степень принадлежности этой пары каузальному отношению  $R_{\sim}^k$ .

Информация, представленная в рабочих моделях, позволяет перейти к новому качественному уровню описания предметной среды проектирования по отношению к понятиям и проектным описаниям – проектным ситуациям. Необходимость выделения этого уровня обусловлена тем, что проектировщик оперирует не отдельными функциональными или атрибу-

тивными описаниями объектов, а их совокупностями, выделяя в качестве концептуальной основы для принятия решений проектную ситуацию.

Проектная ситуация представляет собой состояние объекта проектирования, характеризующееся конкретными значениями свойств данного объекта, определенным компонентным составом, характеристиками и взаимосвязями объектов более низкого иерархического уровня. Формализованное представление проектной ситуации есть описание состояния объекта проектирования на основе понятийного аппарата и семантических отношений между его компонентами  $S = \langle X, Q, R \rangle$ , где  $X$  – множество объектов, представляющих ситуацию  $S$ ;  $Q$  – множество проектных описаний, характеризующих объекты;  $R$  – множество семантических отношений на множествах  $X$  и  $Q$ . Проектная ситуация содержит исходную информацию, определяющую специфику операционных компонентов деятельности, поскольку умения проектировщика характеризуются определенной структурой действий в каждой конкретной проектной ситуации. Для моделирования процедурных знаний будем использовать формализм, основанный на концепции фреймов-планов, связывающий проектные ситуации как характеристики предметной области и базовые операционные компоненты знаний о проектировании.

Фрейм-план действия представляет собой сетевую структуру, характеризующую упорядоченную последовательность операций, ведущих к достижению конкретной цели. Формально он может быть описан как  $F = \langle S, U, P \rangle$ , где  $S$  – исходная ситуация;  $U$  – условия достижения цели;  $P$  – совокупность процедур, реализующих план.

Учитывая иерархический характер деятельности, каждая процедура может быть представлена в виде фрейм-плана; в свою очередь, каждый фрейм-план может представлять процедуру более высокого уровня иерархии. Фрейм-планы получили широкое распространение в задачах моделирования процедурных аспектов деятельности вследствие адекватности отображения особенностей предметной области, возможности конкретизации структуры знаний в условиях динамически изменяющейся предметной среды, а также обеспечения более содержательных результатов процесса их естественно-языковой интерпретации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новакова Н. Е. Онтология управления знаниями в проектной деятельности // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. № 3. С. 8–15.
2. Горячев А. В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в распределенной информационной среде: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.

*N. E. Novakova*

### *CONCEPTUAL DEFINITION OF CAD SYSTEM COMPOUND DOMAIN*

*The problems of description of CAD system knowledge domain are considered. Conceptual definition method of IT-infrastructure is offered.*

**CAD system, semantic model, design process, knowledge representation, IT-infrastructure**

## РЕКУРСИВНО-ЛЕКСИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА РАССТАНОВКИ КВАНТОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Рассмотрены основы рекурсивно-лексической методики генерации квантовых цепей и предложен алгоритм расстановки квантовых преобразователей как способа представления спецификации для реализации квантовых вычислений на основе изменения состояний кубитов на примере квантового преобразования Фурье (QFT). Введен унифицированный контролируемый преобразователь как для прямого, так и для обратного QFT.*

### Квантовый преобразователь, квантовая цепь, квантовое преобразование Фурье

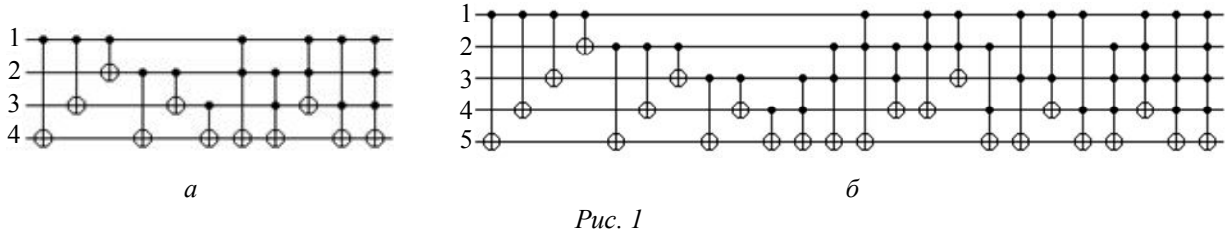
В конце XX в. работы Ландауэра [1] и Беннетта [2] стимулировали интерес мирового научного сообщества к обратимым вычислениям и, как следствие, к проектированию цепей на основе реверсивных преобразователей. Преобразователь (цепь) является реверсивным при наличии взаимно-однозначного соответствия между входными и выходными значениями. Квантовый подход к автоматизированному проектированию предполагает более эффективную организацию вычислений, чем при использовании классических схем обратимых вычислений, так как квантовый преобразователь представляется унитарной матрицей и реверсивен в силу своей природы, т. е. не требует дополнительных входов и выходов.

Несмотря на то что для проектирования квантовых цепей (алгоритмов) имеется ряд хорошо известных решений, продолжают исследования по их усовершенствованию с целью упрощения предложенных структурных вариантов, в частности, для таких важных задач, как QFT [3] или поисковые алгоритмы (например, Гровера [4]). В статье представлен обобщенный подход к использованию унифицированной схемы реализации QFT на основе квантового алгоритма перестановки сопряженных коэффициентов, а также автоматизированное лексическое обоснование корректности предложенного подхода.

Модель квантовой цепи – это способ представления спецификации для реализации квантовых вычислений на основе изменения состояний кубитов. С этой точки зрения модель квантовой цепи представляет собой способ обеспечения преобразований, которые позволяют перейти от входных состояний кубитов к выходным, причем для тех и других может быть предъявлена четкая спецификация. При проектировании квантовой цепи подбирается конкретная композиция матриц преобразований, воздействующих на отдельные кубиты или их совокупность.

В [5] при представлении спецификаций для прямого и обратного QFT было отмечено, что символические записи соответствующих формул идентичны по своей структуре и различаются только знаками степени экспоненты. Другими словами, на символическом уровне происходит обработка сопряженных значений, представленных точками разметки единичной окружности. В итоге вместо двух схем для прямого и обратного преобразований достаточно одной унифицированной схемы – управляемого UniQFT.

Предварительно был рассмотрен интуитивный вариант расстановки управляемых NOT с различными комбинациями управляющих кубитов. Разработана спецификация схемы перестановок сопряженных коэффициентов для четырех (рис. 1, а) и пяти кубитов (рис. 1, б).



Сложность приведенных схем заключается в большом количестве многоуправляемых преобразователей NOT.

В предлагаемом подходе рассматривается вариант QFT при количестве коэффициентов, равном соответствующей степени числа 2:  $N = 2^n$ , где число используемых кубитов задается значением  $n = 3, 4, \dots$  при нумерации коэффициентов значениями  $i = 1, 2, \dots, N$ . В этом случае алгоритм перестановки сопряженных коэффициентов сводится к следующей схеме:

1) коэффициенты с номерами 1 и  $N/2 + 1$  остаются без изменения;

2) остальные коэффициенты подлежат симметричному обмену относительно нумеруемого как  $N/2 + 1$  таким образом, чтобы сумма их номеров равнялась числу  $N + 2$ . В итоге обмену подлежат следующие нумерованные пары коэффициентов:  $(2, N)$ ,  $(3, N - 1)$ ,  $\dots$ ,  $(N/2, N/2 + 2)$ .

Задача перестановки сопряженных коэффициентов QFT представлена для двух (рис. 2, а), трех (рис. 2, б) и четырех (рис. 2, в) кубитов в лексической записи состояниями кубитов на входе и выходе преобразователя.

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{Q1} \otimes \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}_{Q2} = \begin{bmatrix} ac \\ ad \\ bc \\ bd \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} ac \\ bd \\ bc \\ ad \end{bmatrix} \\
 & \hspace{10em} \text{а} \\
 & Q1 \otimes Q2 \otimes Q3 = \begin{bmatrix} ace \\ acf \\ ade \\ adf \\ bce \\ bcf \\ bde \\ bdf \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} ace \\ bdf \\ bde \\ bcf \\ bce \\ adf \\ ade \\ acf \end{bmatrix} \\
 & \hspace{10em} \text{б} \\
 & Q1 \otimes Q2 \otimes Q3 \otimes Q4 = \begin{bmatrix} aceg \\ aceh \\ acfg \\ acfh \\ adeg \\ adeh \\ adfg \\ adfh \\ bceg \\ bceh \\ bcfg \\ bcfh \\ bdeg \\ bdeh \\ bdfg \\ bdfh \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} aceg \\ bdfh \\ bdfg \\ bdeh \\ bdeg \\ bcfh \\ bcfg \\ bceh \\ adfh \\ adeh \\ adfg \\ adeg \\ acfh \\ acfg \\ aceh \end{bmatrix} \\
 & \hspace{10em} \text{в}
 \end{aligned}$$

Рис. 2

Авторами предлагается семейство рекурсивных структурных схем  $W_i$  для реализации квантового преобразователя перестановки сопряженных коэффициентов при числе кубитов  $i \geq 3$ . Используемая библиотека квантовых преобразователей –  $C^m\text{NOT}$ , где  $m$  – число кубитов.

тов управления. При  $m = 0$  преобразователь – неуправляемый инвертор NOT, изображенный на схеме в виде символа  $\oplus$  на линии соответствующего кубита, управление обозначается вертикальной чертой, на которой черными точками помечены управляющие кубиты. Матри-

$$\text{ца NOT} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

В качестве базы рекурсии используется структурное решение – схема перестановки сопряженных коэффициентов  $W$  для трех кубитов (рис. 3, б) с соответствующими восемью коэффициентами.

Для любого количества кубитов  $N \geq 4$  дополнительно последовательно изменяют состояния кубитов в 3 этапа. На первом этапе на все участвующие в очередном шаге кубиты воздействуют преобразователем NOT. На втором этапе реализуется управляемый NOT с  $N - 1$  управляющим кубитом и очередным добавляемым для рассмотрения кубитом  $N$  в качестве целевого. На третьем этапе на все управляющие кубиты осуществляется обратное воздействие преобразователем NOT.

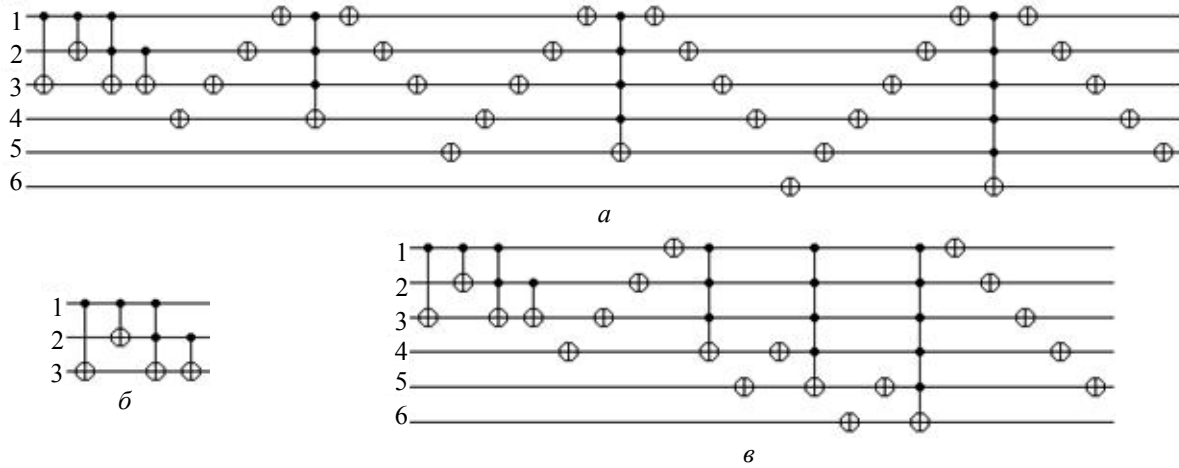


Рис. 3

Обобщенная рекурсивная схема  $W$  для  $N$  кубитов (преобразователи записываются справа налево) может быть представлена следующим образом:

$$W_N = \begin{cases} W_3, & \text{если } N = 3, \\ \text{NOT}_{(1..N-1)} \text{CNOT}_{(1..N-1) \rightarrow N} \text{NOT}_{(1..N)} W_{N-1}, & \text{если } N > 3. \end{cases}$$

Можно заметить, что в структурной рекурсивной схеме  $W$  для шести кубитов (рис. 3, а) при выполнении преобразований для двух соседних кубитов последовательно применяются 2 NOT, совместное действие которых приводит к исходному состоянию. При оптимизации схемы  $W$  двойные NOT могут быть удалены (рис. 3, в), что ведет к существенному уменьшению числа используемых кубитов. Для шести кубитов удаляются двойные NOT рекурсивных шагов при управлении в  $C^m\text{NOT}$  от трех и четырех кубитов, т. е.  $2(3 + 4) = 14$  преобразователей. В общем случае экономия составляет  $2 \sum_{i=3}^{N-2} i$  преобразователей NOT. Модифицированное представление рекурсивной схемы:

$$W'_{i,N} = \begin{cases} W_3, \text{ если } i = 3, \\ \text{NOT}_{(1..N-1)} \text{CNOT}_{(1..N-1) \rightarrow N} \text{NOT}_{(1..N)} W'_{i,N-1}, \text{ если } N = 4, \\ \text{CNOT}_{(1..N-1) \rightarrow N} \text{NOT}_{(N-1, N-2)} \text{NOT}_{(1,2)} W'_{i,N-1}, \text{ если } i = 4, \\ \text{CNOT}_{(1..N-1) \rightarrow N} \text{NOT}_{(N-1, N-2)} W'_{i,N-1}, \text{ если } i > 4 \text{ и } i < N, \\ \text{NOT}_{(1..N-1)} \text{CNOT}_{(1..N-1) \rightarrow N} \text{NOT}_{(N-1, N-2)} W'_{i,N-1}, \text{ если } i = N. \end{cases}$$

Предложенное решение проверялось программой лексического анализа осуществляемых преобразований, написанной на языке C++. Протокол работы анализатора для четырех кубитов представлен на рис. 4.

| Шаг       | (начало) 0 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | (итог) 12 |
|-----------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Состояния | aceg       | aceg | aceg | aceg | aceg | bceg | bdeg | bcfg | bceh | bceh | bcfg | bdeg | aceg      |
|           | aceh       | adeh | adfh | adfh | adfh | bdfh | bcfh | bceh | bcfg | bcfg | bceh | bcfh | bdfh      |
|           | acfg       | acfg | acfg | acfg | adfg | bdfg | bcfg | bdeg | bcfh | bcfh | bdeg | bcfg | bdfg      |
|           | acfh       | adfh | adeh | aceh | adeh | bdeh | bceh | bcfh | bdeg | bdeg | bcfh | bceh | bdeh      |
|           | adeg       | adeg | adeg | adeg | adeg | bdeg | bceg | bdfg | bdeh | bdeh | bdfg | aceg | bdeg      |
|           | adeh       | aceh | acfh | acfh | acfh | bcfh | bdfh | bdeh | bdfg | bdfg | bdeh | bdfh | bcfh      |
|           | adfg       | adfg | adfg | adfg | acfg | bcfg | bdfg | bceg | bdfh | bdfh | aceg | bdfg | bcfg      |
|           | adfh       | acfh | aceh | adeh | aceh | bceh | bdeh | bdfh | bceg | aceg | bdfh | bdeh | bceh      |
|           | bceg       | bceg | bceg | bceg | bceg | aceg | adeg | acfg | aceh | aceh | acfg | adeg | bceg      |
|           | bceh       | bdeh | bdfh | bdfh | bdfh | adfh | acfh | aceh | acfg | acfg | aceh | acfh | adfh      |
|           | bcfg       | bcfg | bcfg | bcfg | bdfg | adfg | acfg | adeg | acfh | acfh | adeg | acfg | adfg      |
|           | bcfh       | bdfh | bdeh | bceh | bdeh | adeh | aceh | acfh | adeg | adeg | acfh | aceh | adeh      |
|           | bdeg       | bdeg | bdeg | bdeg | bdeg | adeg | aceg | adfg | adeh | adeh | adfg | bceg | adeg      |
|           | bdeh       | bceh | bcfh | bcfh | bcfh | acfh | adfh | adeh | adfg | adfg | adeh | adfh | acfh      |
|           | bdfg       | bdfg | bdfg | bdfg | bcfg | acfg | adfg | aceg | adfh | adfh | bceg | adfg | acfg      |
|           | bdfh       | bcfh | bceh | bdeh | bceh | aceh | adeh | adfh | aceg | bceg | adfh | adeh | aceh      |

Рис. 4

Для моделирования и проверки алгоритма как для чистых, так и смешанных состояний кубитов был выбран независимый симулятор квантовых цепей Zeno [6]. С целью автоматической генерации рекурсивной схемы размещения преобразователей на языке C++ написана программа-компилятор, формирующая ее спецификацию в формате xml, используемом в симуляторе Zeno (рис. 5, а).

Вместо преобразователей для прямого и обратного QFT введен унифицированный управляемый преобразователь CUniF, состоящий из преобразователя Фурье  $U_F$  и управляемого  $W_4$  (рис. 5, б):

$$\text{CUniF} = \begin{cases} U_F, \text{ если кубит управления } |0\rangle, \\ U_F W, \text{ если кубит управления } |1\rangle, \end{cases}$$

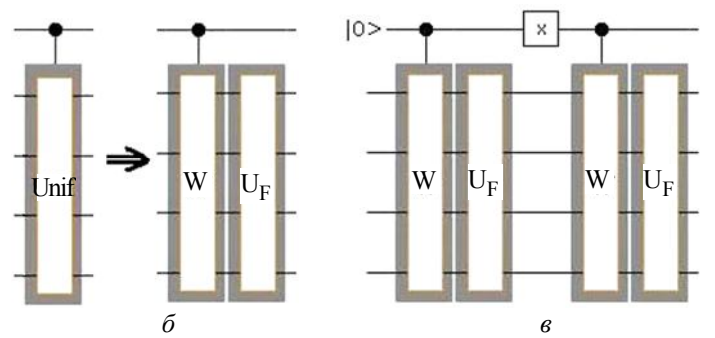
где при значении  $|0\rangle$  на управляющем кубите выполняется прямое преобразование QFT –  $U_F$ , а при значении  $|1\rangle$  – последовательность преобразований: перестановка сопряженных величин для соответствующих коэффициентов  $W$  и прямое преобразование QFT.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ZenoSimulation>
  <circuit type="1">
    <initialstate arity="4" type="1">
      <qubit qubit="0">
        <matrixElement row="0" col="0" real="1.0" imaginary="0.0" />
        <matrixElement row="1" col="0" real="0.0" imaginary="0.0" />
      </qubit>
      <qubit qubit="1">
        <matrixElement row="0" col="0" real="1.0" imaginary="0.0" />
        <matrixElement row="1" col="0" real="0.0" imaginary="0.0" />
      </qubit>
      <qubit qubit="2">
        <matrixElement row="0" col="0" real="1.0" imaginary="0.0" />
        <matrixElement row="1" col="0" real="0.0" imaginary="0.0" />
      </qubit>
      <qubit qubit="3">
        <matrixElement row="0" col="0" real="1.0" imaginary="0.0" />
        <matrixElement row="1" col="0" real="0.0" imaginary="0.0" />
      </qubit>
    </initialstate>
    <column arity="4">
      <gate name="X" arity="1" library="1-qubit" qubit="2" />
      <control qubit="0" />
    </column>
    <column arity="4">
      <gate name="X" arity="1" library="1-qubit" qubit="1" />
      <control qubit="0" />
    </column>
    <column arity="4">
      <gate name="X" arity="1" library="1-qubit" qubit="2" />
      <control qubit="0" />
      <control qubit="1" />
    </column>
    <column arity="4">
      <gate name="X" arity="1" library="1-qubit" qubit="2" />
      <control qubit="1" />
    </column>
    <column arity="4">
      <gate name="X" arity="1" library="1-qubit" qubit="3" />
    </column>
  </circuit>

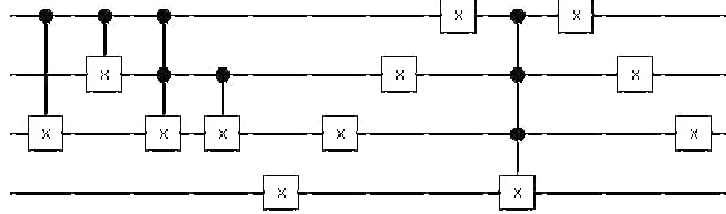
```

а

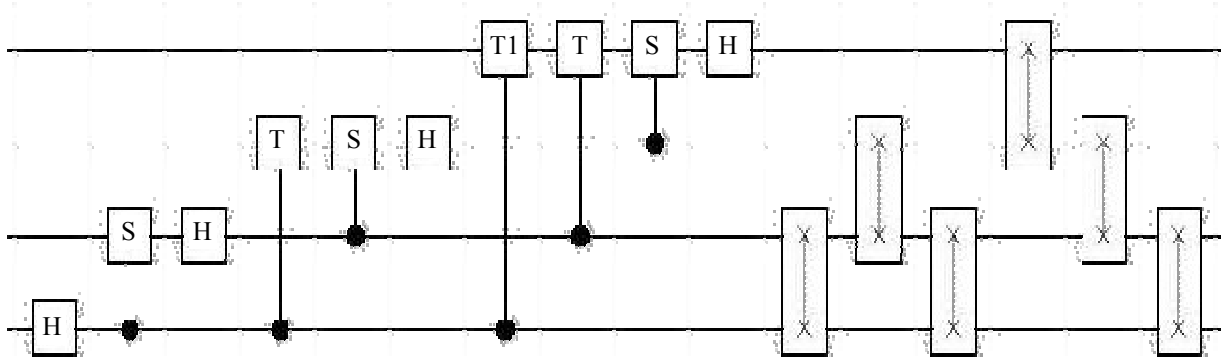


б

в



г



д

Рис. 5

Результаты проектирования структурной схемы квантовой цепи для четырех кубитов (рис. 5) представлены в нотации симулятора ZENO. Однокубитовые преобразователи – в виде квадратиков с соответствующей буквой, многокубитовые – в виде прямоугольников, управление – стандартным образом. Дополнительно к стандартной библиотеке ZENO, включающей преобразователи: Адамара ( $H$ ), фазовый ( $S$ ),  $\pi/8$  ( $T$ ), NOT ( $X$ ) и SWAP (преобразователь обмена), создана библиотека LibNov преобразователей для конкретной задачи, один из которых –  $T1$  (рис. 5, д). Матрицы преобразователей:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{pmatrix}, T1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/8} \end{pmatrix}.$$

Резюмируя, хочется отметить, что в результате проектирования получены различные спецификации цепи: цепь для проверки воспроизведения входных значений на выходе схемы  $U_F-W_4-U_F$  (рис. 5, в), представление преобразователя  $W_4$  в библиотеке  $C^mNOT$  (рис. 5, г), преобразователь  $U_F$  (по схеме Копперсмита) в библиотеке  $C^mNOT$  (рис. 5, д).

Набор преобразователей зависит от возможностей используемой технологии. Дальнейшее упрощение с точки зрения реализации цепи требует применения декомпозиции к многоуправляемым преобразователям. В планах дальнейшей работы – разработка предположительно рекурсивного, в силу используемой библиотеки  $C^mNOT$ , алгоритма декомпозиции, исходя из критерия минимального числа преобразователей и использования принципа близкого соседства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Landauer R. Irreversibility and Heat Generation in the Computational Process // IBM Journ. of Research and Development. 1961. Vol. 5. P. 183–191.
2. Bennet C. H. Logical Reversibility of Computation // IBM Journ. of Research and Development. 1973. Vol. 17. P. 525–532.
3. Elementary gates for quantum computation / A. Barenco, C. H. Bennett, R. Cleve et al. // Phys. Rev. A. 1995. Vol. 52, № 5. P. 3457–3467.
4. Grover L. K. Quantum computers can search arbitrarily large databases by a single query // Phys. Rev. Lett. 1997. Vol. 79, № 23. P. 4709–4012.
5. Герасимов И. В., Калмычков В. А., Лозовой Л. Н. Комплементарное моделирование в средах САПР: виртуализация квантовых объектов информации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.
6. Cabral G. E. M., Lula B., Lima A. F. ZENO: a new graphical tool for design and simulation of quantum circuits // Proc. of Defense and Security Symposium, Quantum Information and Computation III, Orlando, FL, USA, 29 march 2005 / SPIE. Orlando, 2005. Vol. 5815. P. 127–137.

*I. V. Matveeva, V. A. Kalmyckov*

### *RECURSIVE-LEXICAL METHODS OF THE PLACEMENT OF THE QUANTUM GATES FOR TASKS COMPUTER AIDED DESIGN*

*The principle of recursive-lexical strategy of quantum circuits generation is considered and quantum gates placement algorithm as the specification presentation mode for quantum computing realization on base of qubits states changes on example of the quantum Fourier transformation (QFT) is offered in paper. Unified controlled gate both for forward and for inverse QFT is introduced.*

**Quantum gate, quantum circuits, quantum Fourier transformation**



УДК 621.313.333

*А. Г. Микеров, Е. А. Рубцова*

## **ВЫБОР МОМЕНТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ И ДИНАМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

*Рассматриваются показатели, необходимые для выбора бесконтактных моментных двигателей систем автоматического управления. Анализ моментных двигателей различных отечественных и иностранных производителей показал, что наиболее полным удельным энергетическим показателем является статическая добротность по моменту. Обсуждаются также динамические показатели: электромеханическая и электромагнитная постоянные времени, выбор одного из которых в качестве основного зависит от назначения системы и конструкции привода (редукторный или безредукторный).*

### **Моментный двигатель, вентильный двигатель, система управления, выбор двигателя**

Выбор исполнительного двигателя системы автоматического управления обычно производят по требуемой механической мощности на валу объекта управления в заданных рабочих режимах [1]. При этом сравнение электродвигателей различных производителей осуществляется как по энергетическим показателям удельной мощности на единицу массы, объема или потребления (КПД), так и по динамическим показателям, например, постоянным времени. Однако для моментных двигателей, как правило, основным параметром является не мощность на валу, а развиваемый момент.

Моментные двигатели – это обычные электрические двигатели с двумя основными особенностями: маленькая рабочая скорость и бескорпусное исполнение, т. е. отсутствие корпуса, вала и подшипников. При этом предполагается, что моментные двигатели встраиваются в какой-либо управляемый объект или машину без редуктора или другой механической передачи (безредукторные приводы). Это устраняет зазоры, упругости, кинематические ошибки и другие механические проблемы, которые уменьшают резонансные частоты привода, ухудшают стабильность и в результате уменьшают точность управляемого привода и его полосу пропускания.

Первая российская (советская) серия бесконтактных встраиваемых двигателей типа ДБМ была запущена в 1984 г. заводом «Машиноаппарат» в Москве. Двигатели проектировались под руководством М. М. Минкина и Ю. М. Беленького [2]–[4]. Все эти моментные двигатели имеют

пазовый или беспазовый статор с двумя или тремя фазами, многополюсный ротор с центральным отверстием и встроенными магнитами из самария-кобальта. Кроме того сегодня на рынке большое количество иностранных бесконтактных моментных двигателей различных известных компаний: Inland (Kollmorgen), Axsys, Moog, ETEL, Parker и т. д.<sup>1</sup>

Для сравнения и выбора моментных двигателей в качестве энергетических характеристик необходимо использовать показатели не удельной мощности, как это принято для обычных электродвигателей, а удельного момента [4]. Динамическими показателями также являются электро-механическая и электромагнитная постоянные времени, однако важно, какой именно из этих показателей выбрать в качестве основного (определяющего).

В данной статье все показатели бесконтактных моментных двигателей оцениваются с учетом их применения в составе замкнутых систем управления. На примере различных компаний производителей все двигатели разбиты на три группы в зависимости от их размера и веса. Такой анализ позволяет выявить основные направления в развитии современных бесконтактных моментных двигателей.

**Энергетические показатели моментных двигателей.** Главной характеристикой для любого моментного двигателя является пусковой момент  $M_s$ . В различных каталогах можно встретить синонимы этого названия: максимальный развиваемый момент, максимальный статический синхронизирующий момент, рабочий момент, постоянный (длительный) момент или момент при малой скорости и т. д.

Отношение пускового момента к току якоря называется коэффициентом момента:

$$C_M = \frac{M_s}{i_s},$$

где  $M_s$  – пусковой момент в любом режиме;  $i_s$  – пусковой ток в этом режиме.

Для любого моментного двигателя  $C_M$  не зависит от выбранного режима и приложенного напряжения на якоре, однако зависит от параметров обмотки. Для сравнения моментных двигателей с разными параметрами обмотки и приложенным напряжением, следует использовать машинную постоянную [10], [11]<sup>2</sup>:

$$K_M = \frac{M_s}{\sqrt{P_s}} = \frac{C_M}{\sqrt{R}}, \quad (2)$$

где

$$P_s = i_s^2 R.$$

---

<sup>1</sup> RBE(H) series motors. KOL1019.pdf. Kollmorgen Corp, [www.kollmorgen.com](http://www.kollmorgen.com); Brushless DC motors. Brushless\_DC\_motors.pdf Axsys Technologies Corp, [www.axsys.com](http://www.axsys.com); Brushless torque & toroidal motors. brushlesstorquemo.pdf. Moog Components group, [www.moog.com/components](http://www.moog.com/components); Frameless motors series. Motors\_kit\_4\_cl.pdf. Parker Bayside, [www.baysidemotion.com](http://www.baysidemotion.com); TMM torque motors. ETEL motion technologies, [www.etel.ch/Torque\\_Motors](http://www.etel.ch/Torque_Motors).

<sup>2</sup> Beauchemin G. A. Motion Control – A shortcut to sizing motors. Machine design. Penton media Inc. 7.10.2003, <http://machinedesign.com>; Holznecht A. Direct drive torque motors for machine tool application, [www.etel.ch/documents/showFile.asp?ID=1000](http://www.etel.ch/documents/showFile.asp?ID=1000).

Здесь  $P_s$  – мощность, потребляемая якорем (статором) для создания момента,  $R$  – сопротивления обмотки якоря. Таким образом, это момент развитый двигателем на единицу потребляемой мощности.

Показатели  $C_M$  и  $K_M$ , упомянутые ранее, могут быть взяты из каталогов компаний производителей моментных двигателей<sup>1</sup>, причем в ряде работ<sup>2</sup> машинная постоянная рекомендуется как наиболее важный показатель для сравнения различных моментных двигателей. Однако с нашей точки зрения этот показатель не полностью отражает технический уровень любого моментного двигателя.

Действительно, пусковой момент синхронного двигателя с постоянным магнитом и гармоническим распределением магнитного поля есть [5]

$$M_s = F_c \Phi_p \sin \theta_m,$$

где  $F_c$  – магнитодвижущая сила статора (МДС);  $\Phi_p$  – магнитный поток ротора;  $\theta_m$  – магнитный угол между магнитными потоками статора и ротора.

Предположим, что электронное усилительно-преобразовательное устройство двигателя с датчиком положения ротора обеспечивает магнитный угол  $\theta_m = \pi / 2$ . Тогда

$$M_s = F_c \Phi_p = i_s N \Phi_p = C_M i_s,$$

где  $N$  – количество витков обмотки с пусковым током  $i_s$ . Следовательно

$$C_M = N \Phi_p. \quad (2)$$

В соответствии с (2) выражение (1) может быть записано:

$$K_M = \Phi_p \frac{N}{\sqrt{R}}. \quad (3)$$

Рассмотрим простую фазную обмотку для двухфазного моментного двигателя как некоторый виток в пазах, как показано на рис. 1, где 1 – статор; 2 – ротор; 3 – обмотка;  $D_0$  – внешний диаметр;  $l$  – полная длина пакета ротора и статора.

Сопротивление обмотки

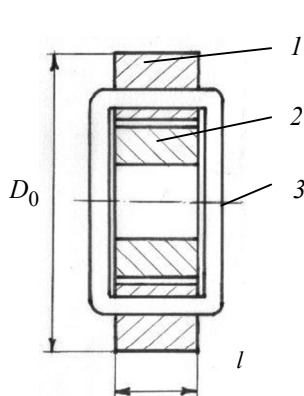


Рис. 1

$$R = \rho \frac{l_w N}{A_w},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление провода;  $l_w$ ,  $A_w$  – длина и площадь поперечного сечения среднего витка.

Для простоты предположим, что коэффициент заполнения паза равен единице, тогда  $A_w = A_c / N$ , где  $A_c$  – поперечное сечение паза и

$$R = \rho \frac{l_w N^2}{A_c}. \quad (4)$$

Предположим также, что магнитный поток ротора пропорционален суммарной длине ротора и статора  $l$  (рис. 1):

<sup>1</sup> [www.kollmorgen.com](http://www.kollmorgen.com); [www.axsys.com](http://www.axsys.com); [www.moog.com/components](http://www.moog.com/components); [www.baysidemotion.com](http://www.baysidemotion.com); [www.etel.ch/Torque\\_Motors](http://www.etel.ch/Torque_Motors).

<sup>2</sup> <http://machinedesign.com>; [www.etel.ch/documents/showFile.asp?ID=1000](http://www.etel.ch/documents/showFile.asp?ID=1000).

$$\Phi_p = \Phi_{p0} \frac{l}{l_0},$$

где  $\Phi_{p0}$ ,  $l_0$  – магнитный поток и длина пакета ротора любого двигателя с тем же диаметром.

Тогда выражение (3) может быть представлено как

$$K_M = k_0 \sqrt{\frac{2l}{l_w}} \sqrt{l}, \quad (5)$$

где коэффициент пропорциональности  $k_0 = \frac{\Phi_{p0}}{l_0} \sqrt{\frac{A_c}{2\rho}}$ .

В качестве примера в табл. 1 и на рис. 2 приведены значения машинной постоянной  $K_M$  для моментных двигателей серии RBE0151X компании Inland с одинаковым внешним диаметром 60.3 мм и разной длиной пакета ротора, а следовательно, и массой  $m$ .

Таблица 1

| Тип RBE | Длина ротора, мм | Масса, кг | $K_M$ , Нм/Вт <sup>0.5</sup> | $K_S$ , Нм/кг·Вт <sup>0.5</sup> |
|---------|------------------|-----------|------------------------------|---------------------------------|
| 01510   | 5.7              | 0.18      | 0.045                        | 0.25                            |
| 01511   | 12.7             | 0.30      | 0.082                        | 0.27                            |
| 01512   | 19.0             | 0.40      | 0.105                        | 0.26                            |
| 01513   | 25.4             | 0.51      | 0.128                        | 0.25                            |
| 01514   | 33.0             | 0.64      | 0.156                        | 0.24                            |
| 01515   | 38.1             | 0.73      | 0.170                        | 0.23                            |
| 01516   | 50.8             | 0.95      | 0.202                        | 0.21                            |

Видно, что значение машинной постоянной зависит от массы. Эта зависимость не прямолинейная поскольку, в соответствии с (5), отношение  $2l/l_w$  стремится к единице с увеличением длины двигателя, следовательно, машинная постоянная будет пропорциональна  $\sqrt{l}$ .

Таким образом, моментный двигатель с большими размерами и массой имеет большее значение машинной постоянной за счет большего пространства для обмоток и постоянного магнита ротора.

Для учета влияния массы двигателя в работе [6] был предложен другой показатель, названный статической добротностью по моменту:

$$K_s = \frac{M_s}{m\sqrt{P_c}} = \frac{C_M}{m\sqrt{R}}, \quad (6)$$

где  $m$  – полная масса моментного двигателя, включая статор и ротор.

Значения этого показателя для двигателей компании Inland также приведены в табл. 1 и на рис. 2. Можно увидеть, что тогда как машинная постоянная увеличивается приблизительно в 4.5 раза значение статической добротности изменяется лишь на  $\pm 14\%$ . Следова-

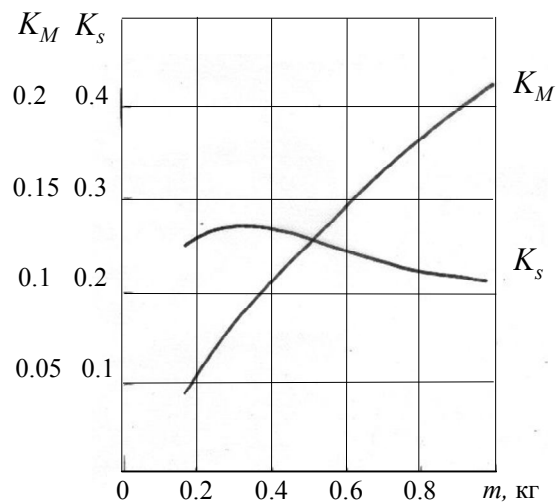


Рис. 2

тельно, именно показатель статической добротности лучше отражает технический уровень моментного двигателя.

Однако, как будет показано ниже, даже в пределах одной серии моментных двигателей с увеличением массы статическая добротность незначительно увеличивается. Таким образом, чтобы оценить технический уровень, лучше сравнивать моментные двигатели близких размеров и массы.

Уже было упомянуто, что в (6) должна учитываться полная масса статора и ротора двигателя. Однако иногда этот показатель может быть рассчитан только для активных материалов, таких как сердечник статора и обмотка плюс сердечник ротора и магниты. В этом случае крепежные и вспомогательные детали исключены из рассмотрения. Очевидно, что такой способ лучше отражает искусство разработчиков двигателей. Возможно, именно крепления и другие конструктивные детали (включенные в полный вес двигателя) объясняют незначительные изменения статической добротности с увеличением массы, упомянутые выше. Действительно, для больших двигателей доля конструктивных элементов как правило меньше, чем для малых двигателей.

Однако практически очень трудно найти информацию об активных материалах в любом каталоге производителя. Таким образом, необходимо осторожно использовать информацию производителя о статической добротности по моменту.

**Динамические показатели моментных двигателей.** Основными динамическими показателями любого двигателя являются электромеханическая постоянная времени  $\tau_m$  и электромагнитная постоянная времени  $\tau_e$ .

Для любого электрического двигателя с линейной механической характеристикой электромеханическая постоянная времени может быть определена как [1]

$$\tau_m = \frac{J_p R}{C_M C_E} = \frac{J_p \Omega_x}{M_s},$$

где  $J_p$  – момент инерции ротора;  $C_E$  – коэффициент противоЭДС;  $\Omega_x$  – скорость холостого хода.

Для двигателей без нагрузки электромеханическая постоянная времени – это время разгона двигателя от нуля до 63 % от скорости холостого хода. Для сервоприводов и для приводов, управляемых по скорости, чем меньше электромеханическая постоянная времени, тем выше полученная точность и ширина полосы пропускания (диапазон рабочих частот)

Когда двигатель соединен с объектом управления (нагрузкой), его электромеханическая постоянная времени возрастает в соответствии со следующим отношением:

$$\tau_{mH} = \tau_m \frac{J_p + J_H}{J_p}, \quad (7)$$

где  $J_H$  – момент инерции объекта управления, приведенный к валу двигателя.

Следует отметить, что этот динамический показатель наиболее важен для приводов с редуктором, так как для безредукторного привода эта постоянная времени в соответствии с (7) может оказаться в сотни раз больше, чем электромеханическая постоянная времени самого двигателя за счет большого момента инерции объекта управления на валу двигателя.

Электромагнитная постоянная времени – это постоянная времени обмотки якоря. Она равна

$$\tau_e = L/R, \quad (8)$$

где  $L$  – индуктивное сопротивление якоря.

Во время разгона двигателя электромагнитная постоянная времени определяет время, за которое ток якоря увеличивается от нуля до 63 % от пускового значения.

Следует упомянуть, что для любого электрического двигателя с постоянными размерами обмотки, электромагнитная постоянная времени не зависит от таких параметров обмотки как число витков и диаметра провода. Рассмотрим обмотку как простой виток, показанный на рис. 1. В данном случае индуктивное сопротивление равно

$$L = N^2 / R_m, \quad (9)$$

где  $R_m$  – магнитное сопротивление двигателя.

Подставив (17) и (9) в (16), получаем:

$$\tau_e = \frac{V_M}{\rho R_m l_w^2},$$

где  $V_M$  – объем меди обмотки.

Последнее выражение показывает, что при неизменном магнитном сопротивлении и средней длины витка электромагнитную постоянную времени определяет только объем меди обмотки. Этот вывод легко может быть проверен на примере все тех же двигателей серии RBE, где каждый двигатель имеет три разных обмотки А, В и С [5]. В табл. 2 приведены значения электромагнитной постоянной времени для двигателя RBE02110

Таблица 2

| Параметр                                | Обмотка |      |      |
|-----------------------------------------|---------|------|------|
|                                         | А       | В    | С    |
| Сопротивление, Ом                       | 1.27    | 8.05 | 0.48 |
| Индуктивность, мГн                      | 1.70    | 10.0 | 0.60 |
| Электромагнитная постоянная времени, мс | 1.34    | 1.24 | 1.25 |

Электромагнитная постоянная времени, принадлежащая к так называемой малой постоянной времени привода  $\tau_\mu$ , определяет полосу пропускания привода. Для привода с подчиненным регулированием и оптимумом по модулю используется следующее известное правило [7]:

$$\omega_{cp} = 1 / (2\tau_\mu), \quad (10)$$

где  $\omega_{cp}$  – частота среза привода.

Таким образом, малая электромагнитная постоянная времени двигателя позволяет сконструировать привод с широкой полосой пропускания и высокой точностью. На практике частота среза многих электромеханических сервоприводов не превышает 10 Гц. Из (10) следует, что для таких приводов моментные двигатели должны иметь электромагнитную постоянную времени меньше 8 мс. Большинство коммерчески доступных моментных двигателей действительно отвечают этому требованию (например, см. табл. 3–5).

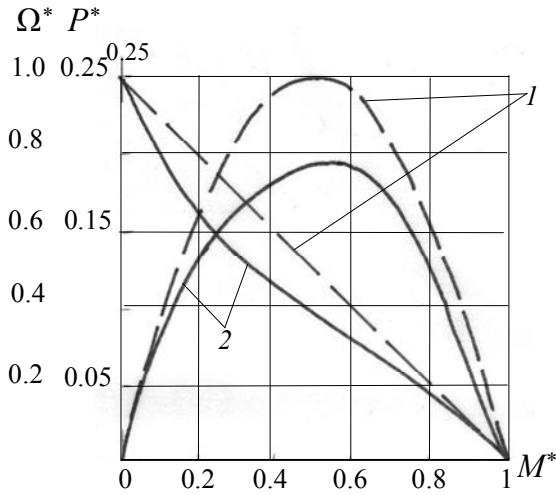


Рис. 3

Относительная выходная мощность на валу двигателя

$$P^* = M^* \Omega^*.$$

Механические характеристики двигателя показаны на рис. 3 для двух случаев: характеристики 1 для ничтожно малой (нулевой) электромагнитной постоянной времени и характеристики 2 для достаточно большой электромагнитной постоянной времени.

Видно, что при нулевом значении электромагнитной постоянной времени, характеристика скорости от момента линейна и максимальная мощность на валу двигателя  $P_{\max}^* = 0.25$  (при  $M^* = 0.5$ ) больше, чем для случая 2, когда электромагнитная постоянная времени велика.

Максимальный дефицит мощности на валу может быть рассчитан для  $\Omega^* = 0.5$  следующим образом.

Для  $\tau_e > 0$ :

$$M^* = \frac{0.5}{1 + 0.25\varphi_e^2}, \quad P^* = \frac{0.25}{1 + 0.25\varphi_e^2}.$$

Следовательно, максимальный дефицит мощности на валу

$$\delta P_{\max}^* = \frac{P_{\max(0)}^* - P_{\max}^*}{P_{\max(0)}^*} = \frac{0.25\varphi_e^2}{1 + 0.25\varphi_e^2}, \quad (11)$$

где  $P_{\max}^*(0) = 0.25$  – максимальная мощность для  $\varphi_e = 0$ .

Функция (11) показана на рис. 4. Видно, что для  $\varphi_e = \omega\tau_e \leq 1$  максимальный дефицит мощности на валу меньше 20 %. Таким образом, влияние электромагнитной постоянной времени на мощность на валу моментного двигателя важно только для высокооборотных двигателей.

Увеличение электромагнитной постоянной времени может привести к уменьшению максимальной мощности на валу двигателя и уменьшению линейной зависимости скорости от момента. Тем не менее, это существенно только для высокооборотных двигателей.

При оценке моментных двигателей требует рассмотрения влияние электромагнитной постоянной времени на механические характеристики. Для бесконтактных моментных двигателей постоянного тока такие характеристики в относительных единицах определяются как [8]

$$M^* = \frac{1 - \Omega^*}{1 + (\varphi_e \Omega^*)^2},$$

где  $M^* = M / M_s$  и  $\Omega^* = \Omega / \Omega_x$  – относительные момент и скорость двигателя;  $\varphi_e = \omega\tau_e$ ,  $\omega = p\Omega$  – угловая скорость;  $p$  – число пар полюсов.

Следует упомянуть также, что нелинейная зависимость скорости от момента может повлиять на поведение замкнутой системы управления и ухудшить стабильность за счет непостоянства электромеханической постоянной времени двигателя. Для сервоприводов с обратной связью по положению такое влияние незначительно, так как здесь электромеханическая постоянная времени определяется при пусковом моменте, где зависимость скорости от момента близка к линейной (см. рис. 3). Конечно, интересно было бы рассмотреть это влияние более подробно, но оно имеет значение лишь для высокооборотных двигателей, что не свойственно моментным двигателям.

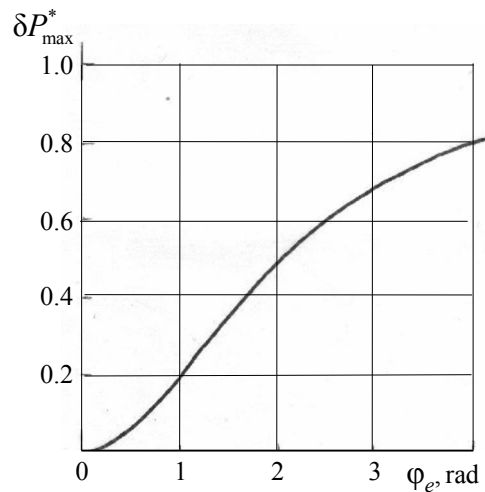


Рис. 4

Более того, в настоящее время известны различные методы для компенсации влияния электромагнитной постоянной времени на механические характеристики. В приводе с подчиненным регулированием используется известный метод обратной связи по току [14]. Обратная связь по фазным токам также содержится в векторном методе управления двигателями переменного тока [9]. Более простой способ, используемый в малых электрических машинах и приводах, – это введение в устройство управления бесконтактным моментным двигателем схемы статической коррекции или программы, показанной на рис. 5 [10].

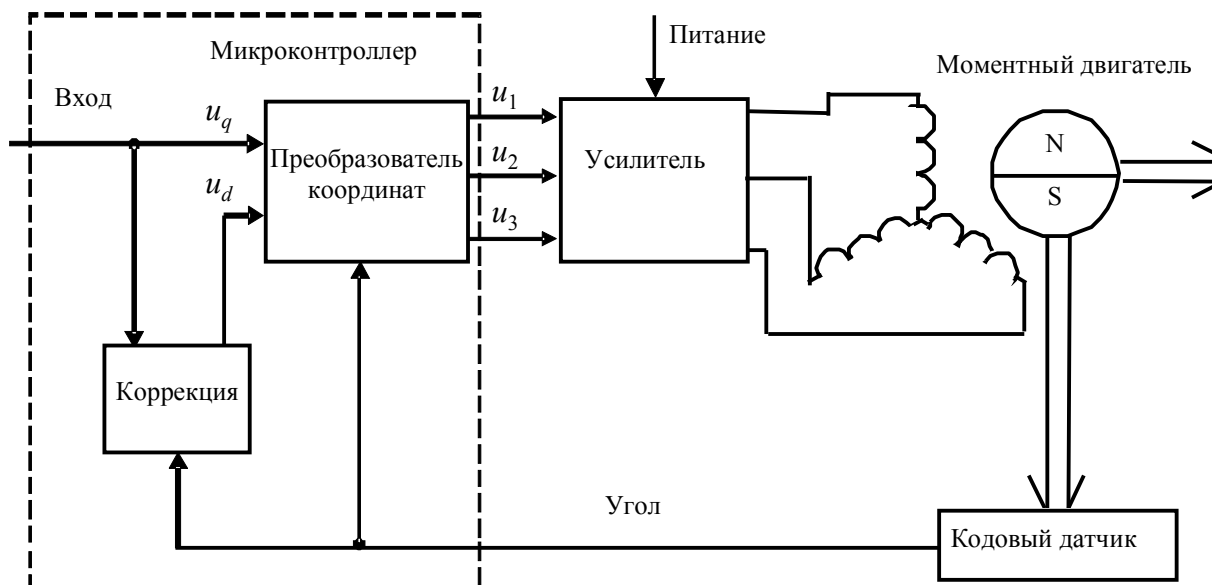


Рис. 5

Здесь моментный двигатель с постоянными магнитами соединен с датчиком положения ротора (кодовым датчиком), усилителем мощности и преобразователем координат. Двигатель управляется в осях  $d$  и  $q$  за счет приложенного управляющего (входного) напряжения  $u_q$ . Корректирующее напряжение  $u_d$  формируется звеном статической коррекции от управляющего сигнала и кодового сигнала положения ротора. Алгоритм коррекции, представленный, на-

пример, в [5], [10], [11], может применяться в микроконтроллерах. Он обеспечивает составляющую вектора тока продольной оси  $i_d = 0$  и, следовательно, линейную зависимость скорости от момента.

Большая электромеханическая постоянная времени также может быть скомпенсирована обратной связью по скорости, что используется при подчиненном регулировании, упомянутом ранее. Но такая обратная связь не способна увеличить малое начальное ускорение двигателя из-за большой электромеханической постоянной времени.

В некоторых случаях увеличенное значение электромагнитной постоянной времени двигателя полезно для снижения нагрева статора и ротора двигателя за счет вихревых токов, вызванных высокочастотными составляющими фазных токов в усилителях мощности с ШИМ.

Поэтому, с нашей точки зрения, выбор электромагнитной или электромеханической постоянной времени в виде наиболее важного динамического показателя зависит от применения привода и его скорости. Что касается энергетических показателей моментных двигателей, то в любом случае наиболее полезным является статическая добротность по моменту.

**Сравнительные параметры современных моментных двигателей.** В табл. 3–5 показаны сравнительные параметры для трех групп современных моментных двигателей<sup>1</sup>. Все двигатели объединены в соответствии с внешним диаметром и массой в три группы:

- двигатели малых габаритов: диаметр 38...60 мм, масса 0.16...0.31 кг (табл. 3);
- двигатели средних габаритов: диаметр 95...115 мм, масса 0.48...1.55 кг (табл. 4);
- двигатели больших габаритов: диаметр 152...254 мм, масса 6.7...9.4 кг (табл. 5).

Число фаз в таблицах не показано, так как энергетические и динамические показатели от них не зависят.

Первая колонка содержит двигатели серии ДБМ, упомянутые выше, которые представляют технический уровень 80-х гг. XX в. Все таблицы показывают, что современные моментные двигатели превосходят двигатели ДБМ по значению статической добротности в 1.7...2.5 раза.

Внутри каждой группы современных моментных двигателей значение статической добротности изменяется незначительно по сравнению со средним значением: 12 % для малых двигателей, 3 % для средних двигателей и 10 % для больших двигателей, в то время как машинная постоянная изменяется в 1.5...3 раза.

Таблицы 3–5 демонстрируют рост статической добротности с увеличением массы. Как было упомянуто ранее, доля конструктивных деталей для больших двигателей, как правило, меньше, чем для малых двигателей. Более того, в таких двигателях используются более толстые провода, где доля изоляционного материала меньше.

В целом, для всех рассматриваемых современных моментных двигателей машинная постоянная изменяется более чем в 80 раз, в то время как статическая добротность – лишь на 15 %, отражая средний технический уровень. Очевидно, что анализ статической добротности по моменту является важным показателем при оценке моментного двигателя.

Некоторая ценная информация о различных способах достижения высокой статической добротности может быть получена из анализа постоянных времени. Например, относительно маленькая электромагнитная постоянная времени и большая электромеханическая постоянная времени свидетельствуют об относительно большом объеме магнита, который увеличи-

---

<sup>1</sup> [www.kollmorgen.com](http://www.kollmorgen.com); [www.axsys.com](http://www.axsys.com); [www.moog.com/components](http://www.moog.com/components); [www.baysidemotion.com](http://www.baysidemotion.com); [www.etel.ch/Torque\\_Motors](http://www.etel.ch/Torque_Motors).

вает поток ротора. И наоборот, относительно маленькая электромагнитная постоянная времени и большая электромагнитная постоянная времени показывают, что в таком двигателе поток статора был увеличен за счет большого объема меди. Вероятно, к таким двигателям относятся моментные двигатели компаний Parker и ETEL.

Для двигателей больших габаритов (табл. 5) электромагнитная постоянная времени для двигателей Inland, Parker и ETEL близка к значению 8 мс, что соответствует условию (10), упомянутому ранее.

В целом, анализ конструкции моментных двигателей показывает, что высокие энергетические показатели могут быть получены различными способами:

- 1) применением магнитов высокой мощности, таких, как NdFeB в двигателях ETEL;
- 2) ротором с поверхностными магнитами (типа «звездочки»). Конструкцию коллекторного типа имеют только двигатели серии ДБМ. Все остальные моментные двигатели в табл. 3–5 имеют роторы с поверхностными магнитами. Как правило, это обеспечивает также большее отверстие ротора;

Таблица 3

| Параметр                                                 | Машино-аппарат, Россия | Inland, США | Axsys, США    | Moog, США | Parker, США |
|----------------------------------------------------------|------------------------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| Тип двигателя                                            | DBM50-0.04-6-2         | RBE01211-A  | 2375J-055-046 | DB1500-G4 | K044150-FY  |
| Внешний диаметр, мм                                      | 50                     | 49          | 60            | 38        | 44          |
| Внутренний диаметр, мм                                   | 12.0                   | 9.6         | 23.9          | 12.7      | 14          |
| Масса, кг                                                | 0.18                   | 0.20        | 0.16          | 0.20      | 0.31        |
| Пусковой момент, Н · м                                   | 0.17                   | 0.81        | 0.43          | 0.39      | 1.51        |
| Коэффициент момента, Н · м/А                             | 0.038                  | 0.041       | 0.071         | 0.084     | 0.28        |
| Машинная постоянная, Н · м/Вт <sup>0.5</sup>             | 0.016                  | 0.050       | 0.032         | 0.044     | 0.080       |
| Статическая добротность, Н · м/(кг · Вт <sup>0.5</sup> ) | 0.086                  | 0.250       | 0.202         | 0.222     | 0.257       |
| Электромагнитная постоянная времени, мс                  | 25.0                   | 3.3         | 10.0          | 17.7      | 0.7         |
| Электромагнитная постоянная времени, мс                  | 0.3                    | 0.5         | 0.4           | 0.2       | 1.05        |
| Число пар полюсов                                        | 8                      | 8           | 8             | 8         | 6           |

Таблица 4

| Параметр                                                 | Машино-аппарат, Россия | Inland, США | Axsys, США    | Moog, США | Parker, США |
|----------------------------------------------------------|------------------------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| Тип двигателя                                            | DBM100-0.4-0.75-2      | RBE02111-A  | 3730H-071-125 | DB4530-A  | K375-150-GY |
| Внешний диаметр, мм                                      | 100                    | 95          | 95            | 115       | 95          |
| Внутренний диаметр, мм                                   | 48.0                   | 16.0        | 44.0          | 25.4      | 38.1        |
| Масса, кг                                                | 0.70                   | 1.0         | 0.55          | 0.48      | 1.55        |
| Пусковой момент, Н · м                                   | 0.88                   | 4.57        | 1.33          | 1.37      | 12.6        |
| Коэффициент момента, Н · м/А                             | 0.30                   | 0.305       | 0.47          | 1.78      | 0.41        |
| Машинная постоянная, Н · м/Вт <sup>0.5</sup>             | 0.099                  | 0.237       | 0.135         | 0.114     | 0.357       |
| Статическая добротность, Н · м/(кг · Вт <sup>0.5</sup> ) | 0.141                  | 0.237       | 0.236         | 0.238     | 0.232       |
| Электромагнитная постоянная времени, мс                  | 24.0                   | 2.4         | 4.9           | 4.2       | 0.7         |
| Электромагнитная постоянная времени, мс                  | 0.6                    | 1.9         | 0.4           | 0.4       | 2.7         |
| Число пар полюсов                                        | 8                      | 12          | 14            | 20        | 12          |

Таблица 5

| Параметр                                                    | Машино-<br>аппарат,<br>Россия | Inland,<br>США | Axsys,<br>США      | Moog,<br>США   | Parker,<br>США  | ETEL,<br>Швейцария   |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Тип двигателя                                               | DBM185-<br>16-0.15-2          | RBE<br>04512-A | 6000S-<br>440-0.10 | DB9000B<br>-3Y | K254-<br>150-5Y | TMM0175-<br>070-3TAN |
| Внешний диаметр, мм                                         | 185                           | 180            | 152                | 229            | 254             | 175                  |
| Внутренний диаметр, мм                                      | 66                            | 82.6           | 102                | 92             | 140.5           | 90                   |
| Масса, кг                                                   | 9.25                          | 6.80           | 6.69               | 8.5            | 9.1             | 9.4                  |
| Пусковой момент, Н · м                                      | 29.2                          | 98.3           | 41.2               | 51.2           | 75.0            | 158                  |
| Коэффициент момента,<br>Н · м/А                             | 1.6                           | 1.14           | 1.65               | 3.03           | 1.42            | 8.35                 |
| Машинная постоянная,<br>Н · м/Вт <sup>0.5</sup>             | 1.32                          | 1.93           | 1.65               | 2.49           | 2.60            | 2.52                 |
| Статическая добротность,<br>Н · м/(кг · Вт <sup>0.5</sup> ) | 0.143                         | 0.280          | 0.239              | 0.293          | 0.286           | 0.268                |
| Электрохимическая<br>постоянная времени, мс                 | 9.0                           | 1.3            | 2.0                | 1.2            | 2.0             | 0.7                  |
| Электромагнитная<br>постоянная времени, мс                  | 3.0                           | 6.3            | 1.5                | 2.5            | 12.5            | 7.1                  |
| Число пар полюсов                                           | 16                            | 12             | 16                 | 32             | 18              | 22                   |

3) сосредоточенной (катушечной) обмоткой статора, например как в двигателях Axsys, в отличие от распределенной обмотки в двигателях DBM и Inland;

4) увеличением удельного объема меди. Однако это увеличивает электромагнитную постоянную времени, как, например, в моментных двигателях Parker и ETEL;

Сравнение характеристик бесконтактных моментных двигателей позволяет сделать следующие выводы:

1. Для выбора и сравнения моментных двигателей можно использовать две группы качественных характеристик (показателей): энергетические и динамические. Последние особо важны для замкнутых систем автоматического управления.

2. С нашей точки зрения самым лучшим энергетическим показателем является статическая добротность по моменту, отображающая способность двигателя развивать момент на единицу потребляемой мощности на один килограмм массы.

3. Известный показатель машинная постоянная сильно зависит от размеров и массы двигателя и не может использоваться как универсальная характеристика. На примере рассмотренных в статье 13 различных двигателей от 5 компаний-производителей с внешним диаметром 38...254 мм и массой 0.16...9.4 кг показано, что машинная постоянная изменяется более чем в 80 раз, в то время как статическая добротность изменяется лишь на 15 %.

4. Современные моментные двигатели имеют статическую добротность по моменту около 0.2...0.3 Н·м/(кг·Вт<sup>0.5</sup>), что превосходит технический уровень моментных двигателей 80-х гг. в 2–3 раза.

5. Основные динамические показатели моментного двигателя – это электрохимическая и электромагнитная постоянные времени, изменяющиеся в пределе 0.7...18 мс для электромагнитной и 0.2...12 мс для электрохимической постоянных времени. Выделение наиболее важного показателя зависит от назначения системы управления и конструкции привода. Для редукторного привода акцент делается обычно на электрохимическую постоянную времени, в то время как для безредукторного привода более важна электромагнитная, которая определяет полосу пропускания замкнутой системы. Например, чтобы получить частоту среза более 10 Гц, электромагнитная постоянная времени должна быть менее 8 мс.

6. Анализ динамических показателей может быть очень полезен для раскрытия особенностей конструкции моментного двигателя. Действительно, относительно большая электро-механическая постоянная времени может свидетельствовать о значительной массе постоянных магнитов, в то время как большой объем меди обмотки может быть причиной относительно большой электромагнитной постоянной времени.

Авторы очень благодарны ЗАО ППТФ «ЭЛМА Ко», и особенно ее главному конструктору Л. М. Епифановой за инициативу и поддержку в исследованиях моментных двигателей, обсужденных в статье.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковчин С. А., Сабинин Ю. А. Теория электропривода. СПб.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Бесконтактный моментный привод для замкнутых систем автоматического управления / Ю. М. Беленький, Л. М. Епифанова, Г. С. Зеленков и др. // Электротехника. 1986. № 2. С. 12–14.
3. Беленький Ю. М., Зеленков Г. С., Микеров А. Г. Выбор и программирование параметров бесконтактного моментного привода / ЛДНТП. Л., 1990.
4. Создание новой серии моментных двигателей интенсивного использования для бесконтактного моментного привода / Епифанова Л. М., Любшин Д. А., Якушенко А. М. и др. // Тр. междунар. конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2007. СПб.: Новекс, 2007. С. 240–243.
5. Микеров А. Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности: Учеб. пособие / ГЭТУ. СПб., 1997.
6. Демагин А. В. Электрические машины для непосредственного привода приборных систем. СПб.: НПО «Азимут», 1991.
7. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат, 1996.
8. Хрущев В. В. Электрические машины систем автоматики. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Изд. центр «Академия», 2006.
10. Mikerov A. G., Djankhotov V. V. Developing in walking robot servodrives with PMSM // Proc. of the Int. symp. on industrial electronics ISIE2006, July 9–13, 2006, Montreal, Canada. P. 2128–2133.
11. Джанхотов В. В. Исследование и разработка следящих электроприводов на базе вентильных двигателей с управлением от сигнального процессора для шагающего робота. Дисс. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2004.

A. G. Mikerov, E. A. Rubtsova

## CONTROL SYSTEM TORQUE MOTORS SELECTION ACCORDING TO THEIR ENERGY AND DYNAMIC INDEXES

*Indexes required for selection of control system brushless torque motors are considered. Torque motors data from different Russian and foreign manufacturers analysis shows that the best specific energy index is the static torque quality factor. Also dynamic indexes such as mechanical and electrical time constants are discussed. Choosing one of it as the primary factor depends of a system function and the drive design (geared or gearless).*

**Torque motor, brushless DC motor, servo drive, motor selection**



УДК 621.365.9

В. Д. Гончаров, Д. С. Самсонов, Е. М. Фискин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ИНИЦИАЦИИ РАЗРЯДА В РЕЛЬСОТРОННОМ УСКОРИТЕЛЕ

*Приводятся результаты численного исследования электромагнитных процессов, протекающих в системе питания инициализации разряда рельсотронного ускорителя. Показана зависимость времени, за которое происходит появление разряда, от электрических параметров элементов разрядного контура. Расчет проводился с учетом нестационарного характера активных сопротивлений элементов. Также учитывались паразитные параметры разрядного контура.*

**Электрический взрыв тонкой проволоочки, рельсотронный ускоритель, нестационарный электромагнитный процесс**

Рельсотронные ускорители (РУ) традиционно используются для разгона макроскопических тел до скоростей более 2...10 км/с. С этой целью в системе, содержащей канал с двумя металлическими рельсами, создается ионизованная область (плазма), через которую протекает ток. Источником тока является батарея конденсаторов, предварительно заряженная до высоких напряжений (1...10 кВ). Взаимодействие тока плазмы и токов рельсов приводит к ускорению плазменного сгустка («плазменного поршня»), которое происходит совместно с ускорением макроскопического тела. В большинстве рельсотронных систем ток составляет десятки или сотни килоампер, а сам процесс ускорения проходит за время  $10^{-3} \dots 10^{-5}$  с.

Инициацию разряда в рельсотронном ускорителе обычно проводят при помощи электрического взрыва тонкой проволоочки (полоски фольги) за счет выделения в ней энергии, предварительно запасенной в конденсаторе [1]. Процесс взрыва представляет интерес и сам по себе, так как является одним из способов получения наноматериалов [2].

Определяющую роль при взрыве играют электромагнитные процессы, экспериментальные исследования которых весьма затруднены. В подобных исследованиях приходится иметь дело с достаточно быстро развивающимися ( $10^{-7} \dots 10^{-5}$  с) нестационарными процессами при уровнях напряжений в несколько киловольт и токов в десятки килоампер. Проведение экспериментов в таких условиях требует значительных материальных затрат и самого современного оборудования. Поэтому практически все исследователи ограничиваются эмпирическими зависимостями размеров взрывающейся проволоочки от начального напряжения и емкости используемой конденсаторной батареи.

Сам описываемый процесс взрыва представляет собой разряд конденсатора на активно-индуктивную нагрузку. Его математическое описание существенно осложняется тем, что электрические параметры нагрузки (проволочки) и токоподводов изменяются во времени. В первую очередь это относится к активным сопротивлениям, ток в которых протекает лишь по части их поперечного сечения (скин-эффект и эффект близости). То есть для расчета сопротивлений необходимо решить весьма громоздкую электромагнитную задачу, описывающую распределение токов и напряжений в реальной исследуемой системе при импульсном входном воздействии. Попытки решения задач в подобной постановке авторам статьи неизвестны. Эту задачу можно рассматривать и как чисто схемотехническую, как это сделано, например, в работе [3]. Однако без учета изменения во времени параметров расчетной схемы вряд ли можно рассчитывать на получение адекватных результатов.

В данной работе нам удалось ввести в рассмотрение параметры реального емкостного накопителя и учесть изменение во времени параметров расчетной схемы. Для этого были проведены серии физических экспериментов и разработана нелинейная математическая модель, описывающая электромагнитные процессы взрыва тонкой проволоочки в описанной системе. При этом в основу созданной модели был положен новый спектральный метод расчета глубины проникновения тока в проводник при импульсном воздействии, предложенный в работе [4].

Расчеты проводились для системы питания РУ, включающей в себя батарею конденсаторов (типа К41И–7), в которой предварительно накапливается энергия электрического поля; игнитронный разрядник (вентильное устройство коммутации конденсаторов на нагрузку); систему токоподводов (коаксиальный кабель, отрезок системы рельсов, узлы подключения кабеля к рельсам, разряднику и конденсаторной батарее); тонкую проволоочку длиной 10 мм, закрепленную в зазоре между рельсами и замыкающую их.

Разработанная математическая модель описывает процессы в нелинейной электрической цепи, параметры которой зависят от времени и от формы протекающего через элементы тока. На рис. 1 показана расчетная схема, на которой обозначены активное сопротивление  $R_{\text{ТП}}$  и индуктивность  $L_{\text{ТП}}$  системы токоподводов, сопротивление и индуктивность проволоочки  $R_{\text{пр}}$ ,  $L_{\text{пр}}$ , коммутирующее устройство  $K$ , а также эквивалентные параметры конденсаторной батареи  $C$  и  $L_C$ . Предварительно с помощью прибора Е7–20 было проведено экспериментальное исследование индуктивностей всех реальных элементов системы питания. В результате выяснилось, что при изменении частоты от 10 кГц до 1 МГц они изменяются не более чем на 5 %. Это позволяет в дальнейшем не учитывать их изменение во времени.

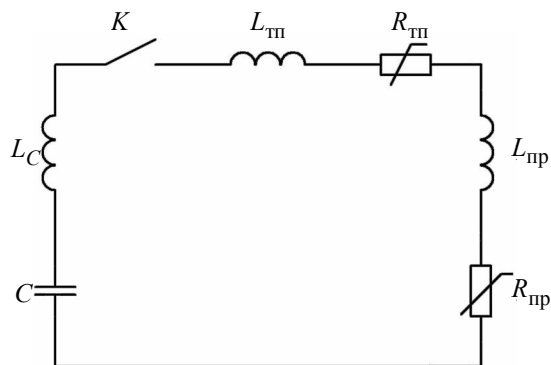


Рис. 1

Емкостной накопитель (в рассматриваемом случае – один конденсатор типа К41И–7) также имеет собственное внутреннее сопротивление. Экспериментально измеренная емкость накопителя  $C = 1 \cdot 10^{-4}$  Ф, индуктивность  $L_C = 2 \cdot 10^{-7}$  Гн.

Индуктивность токоподводов  $L_{\text{ТП}}$  складывается из последовательно включенной индуктивности отрезка коаксиального кабеля типа РК-50 длиной 1 м ( $L_{\text{к.к}} = 1.5 \cdot 10^{-7}$  Гн), индуктивности отрезка системы медных рельсов длиной 10 см и сечением  $5 \times 10$  мм с расстоянием 1 см между ними ( $L_{\text{р}} = 1,2 \cdot 10^{-7}$  Гн), паразитной индуктивности системы подключения токоподводов к рельсам и коммутатору  $K$  ( $L_{\text{п}} = 5.3 \cdot 10^{-7}$  Гн). Индуктивность тонкой проволоочки  $L_{\text{пр}}$  в исследуемой области диаметров меняется слабо, и ее можно принять  $L_{\text{пр}} = 1.5 \cdot 10^{-8}$  Гн.

Таким образом, при проведении численных экспериментов суммарная индуктивность системы токоподводов полагалась равной  $L_{\text{ТП}} = L_{\text{к.к}} + L_{\text{р}} + L_{\text{п}} = 6.5 \cdot 10^{-7}$  Гн, а суммарная индуктивность разрядного контура  $L = L_{\text{с}} + L_{\text{ТП}} + L_{\text{пр}} = 1 \cdot 10^{-6}$  Гн.

Активное сопротивление системы  $R(t)$  складывается из сопротивления оплетки и центральной жилы коаксиального кабеля  $R_{\text{к.к}}(t)$ , сопротивления рельсов  $R_{\text{р}}(t)$  и сопротивления проволоочки  $R_{\text{пр}}(t)$ :  $R(t) = R_{\text{к.к}}(t) + R_{\text{р}}(t) + R_{\text{пр}}(t)$ . Причем все эти сопротивления являются нестационарными: их значения зависят от формы протекающего тока. Эти значения на каждом временном шаге расчета определялись численно с помощью спектрального метода определения глубины проникновения тока сложной формы в проводник [4].

В процессе расчетов интегрировалась система дифференциальных уравнений, описывающих процессы в контуре (рис. 1) [5]:

$$\begin{cases} i'_L(t) = -\frac{1}{L}u_C(t) - \frac{R(t)}{L}i_L(t); \\ u'_C(t) = u_C(t) - \frac{1}{C}i_L(t). \end{cases}$$

На каждом временном шаге интегрирования проводился пересчет сопротивления отдельных элементов в зависимости от формы протекающего импульса тока.

Моментом окончания электромагнитных процессов в системе можно считать момент взрыва проволоочки  $t_0$ . Определить его можно, зная энергию, которая выделяется в проволочке:

$$W_{\text{пр}} = \int_0^{t_0} i^2(t) R_{\text{пр}}(t) dt.$$

Выделяемая энергия  $W_{\text{пр}}$  расходуется на нагрев, плавление и испарение материала проволоочки ( $W_{\text{исп}}$ ). Определить это значение энергии можно только качественно. Взрыв проволоочки – существенно нестационарный процесс, в котором происходит интенсивное разрушение связей между атомами материала. В процессе взрыва в пар может переходить либо все вещество проволоочки (при больших энергиях), либо незначительная часть этого вещества (при относительно небольших энергиях). Проведенные эксперименты при минимальных напряжениях, при которых наблюдается взрыв (рис. 3), показали, что в этих условиях в пар переходит от 10 до 15 % вещества проволоочки. Поэтому в наших расчетах энергия  $W_{\text{исп}}$ , кото-

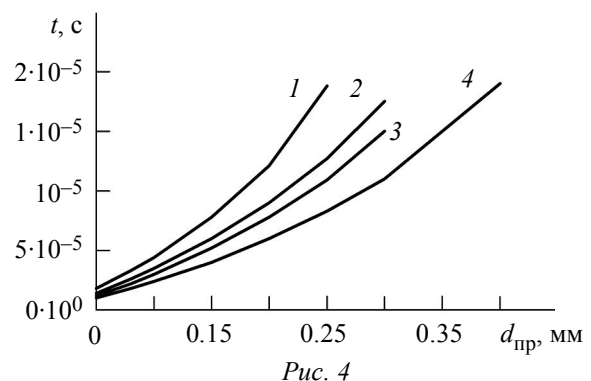
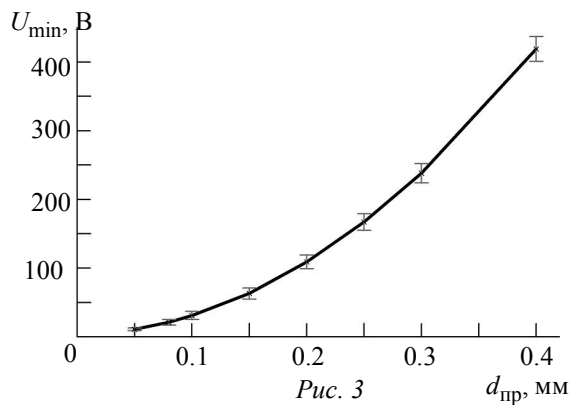
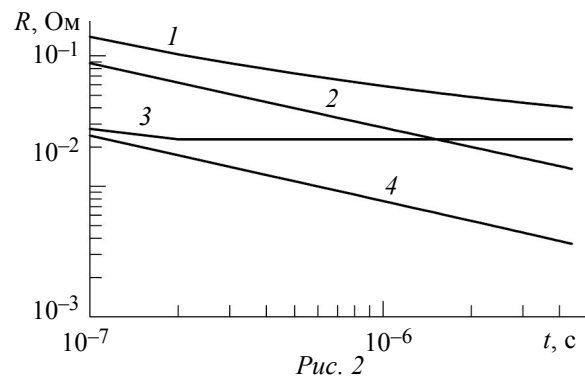
рую необходимо затратить на квазистационарный процесс испарения, определялась на основе известных термодинамических параметров исследуемого материала (теплоемкости, удельной теплоты плавления и парообразования) и объема испаряемого материала. При этом, на основе результатов экспериментов, в наших расчетах принимается, что 90 % объема вещества проволоочки сообщается энергия, достаточная только для его разогрева до температуры плавления и перевода в расплавленное состояние. А 10 % объема вещества – дополнительная энергия, достаточная для разогрева до температуры испарения и испарения. В частности, значение энергии  $W_{\text{исп}}$  для медной проволоочки длиной 10 мм и диаметром  $d_{\text{пр}} = 0.1$  мм в наших расчетах составляет 2.1 Дж (если считать, что весь материал проволоочки испаряется, это значение составит 9.07 Дж).

Пример численного расчета зависимости от времени активного сопротивления элементов разрядного контура при начальном напряжении заряда конденсатора  $U = 2$  кВ,  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  Гн и диаметре проволоочки  $d_{\text{пр}} = 0.1$  мм приведен на рис. 2 (кривая 1 – суммарное

сопротивление, 2 – сопротивление коаксиального кабеля, 3 – сопротивление проволоочки, 4 – сопротивление рельсов). Полученные результаты свидетельствуют о том, что сопротивление в рассматриваемом диапазоне времени может изменяться более чем на порядок, что существенно сказывается на результатах расчетов цепи питания.

На рис. 3 приведены результаты численных расчетов минимального начального напряжения емкостной батареи  $U_{\text{min}}$ , при котором возможен взрыв медной проволоочки с диаметром  $d_{\text{пр}}$ . На этом же рисунке приводятся результаты реальных физических экспериментов по взрыву проволоочек разных диаметров (для каждой из них проводилась серия из 5 экспериментов). Сравнение полученных результатов свидетельствует об адекватности проводимых расчетов реальному физическому процессу.

На рис. 4 приведены результаты расчета времени, необходимого для взрыва медных проволоочек различного диаметра при разных значениях  $U$  (кривая 1 –  $U = 2$  кВ, 3 –  $U = 3.5$  кВ, 4 –  $U = 5$  кВ). На этом же рисунке приведены результаты расчета для системы с увеличенным значением индук-



тивности элементов (кривая 2:  $L = 12.5 \cdot 10^{-7}$  Гн,  $U = 3.5$  кВ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что при определенном напряжении одного накопительного элемента, начиная с некоторого диаметра, взрыва проволоочки не происходит (например, при  $U = 2$  кВ,  $L = 1 \cdot 10^{-6}$  Гн взорвать медную проволочку с диаметром  $d_{\text{пр}} > 0.25$  мм не удастся). Изменение суммарной индуктивности системы питания  $L$  приводит к тому, что может изменяться и область допустимых диаметров  $d_{\text{пр}}$ . Эти результаты хорошо согласуются с экспериментом, что также свидетельствует об адекватности предложенной модели.

На рис. 5 приведен пример численного расчета изменения во времени напряжений на отдельных элементах схемы при  $U = 2$  кВ,  $L = 10 \cdot 10^{-7}$  Гн,  $d_{\text{пр}} = 0.1$  мм (кривая 1 – напряжение на емкостном элементе, 2 – на всем активном сопротивлении  $R(t)$ , 3 – на проволочке). Полученные

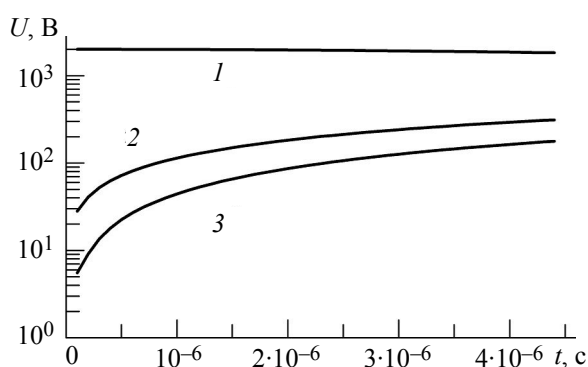


Рис. 5

результаты свидетельствуют о том, что собственно к проволочке прикладывается не более 10 % входного напряжения. Подобное распределение напряжения и, следовательно, вкладываемой мощности, позволяет утверждать о необходимости учета процессов в системе питания устройств инициализации разряда в рельсотронном ускорителе, которые в большинстве работ, посвященных данной тематике, не учитываются.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-08-00964-а и НОЦ «Механика импульсных процессов в газах и плазме» на оборудовании, предоставленном Физико-техническим институтом им. А. Ф. Иоффе РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание газоразрядной плазмы воздуха в сверхзвуковом магнитогидродинамическом канале / Р. В. Васильева, А. В. Ерофеев, Б. Г. Жуков и др. // ЖТФ. 2009. Т. 79, вып. 6.
2. Ильин А. П., Назаренко О. Б. Проблемы совершенствования электровзрывной технологии получения нанодисперсных порошков // Химия и химическая технология, 2008. Т. 51, №. 7. С. 61–64.
3. Рельсовые электромагнитные ускорители твердых тел. Достижения. Проблемы. Перспективы» / Г. А. Швецов, А. Г. Анисимов, Ю. Л. Башкатов, С. В. Станкевич // Гидродинамика высоких плотностей энергии, 2004. С. 282–304.
4. Гончаров В. Д., Самсонов Д. С. Спектральный метод определения эффективной глубины проникновения тока для сигналов сложной формы // Изв. СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. № 4.
5. Бычков Ю. А., Золотницкий В. М., Чернышев Э. П. Основы теории электрических цепей. СПб.: Лань, 2002.

*V. D. Goncharov, D. S. Samsonov, E. M. Fiskin*

### *ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN RAILGUN DISCHARGE INITIATING SYSTEM*

*Offering the results of numerical calculation of electromagnetic processes in railgun discharge initiating system. Showing dependence of amount of time needed to start the discharge upon the electric parameters of the elements of the discharge circuit. The calculations were made taking into account non-stationary elements resistance. Also parasitic inductances were accounted.*

**Electrical dispose of wire, railgun, non-stationary electromagnetic process**



УДК 620.179.162

*К. Е. Аббакумов, И. Г. Сидоренко,  
И. Н. Таганов, А. В. Теплякова*

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СПОСОБЫ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Предложена модель слоистой структуры булата, для которой разработан метод оценки параметров микронеоднородной среды. Проведен анализ скоростей распространения продольных волн в булате при различной ориентации слоев. На основании проведенных экспериментальных исследований в качестве информативных параметров оценки структуры булата рекомендованы параметры скоростей распространения ультразвука, а также спектральные характеристики отдельных информативных сигналов и их совокупности.*

**Булат, скорость продольных волн, трансформация волн, спектральные характеристики сигналов**

Для дорогого холодного оружия на протяжении многих столетий используются 2 неоднородных металла – индо-персидский булат (рис. 1) и дамасская сталь (рис. 2), на поверхностях которых после специальной обработки образуются красивые узоры. Изделия из этих металлов занимают почетные места в экспозициях всех музеев мира.

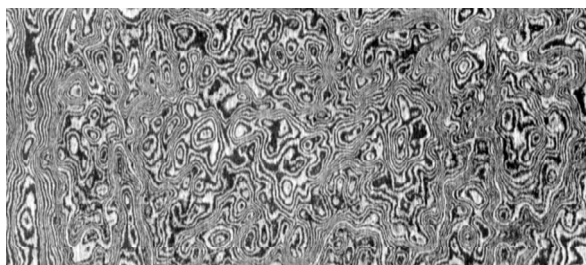


Рис. 1

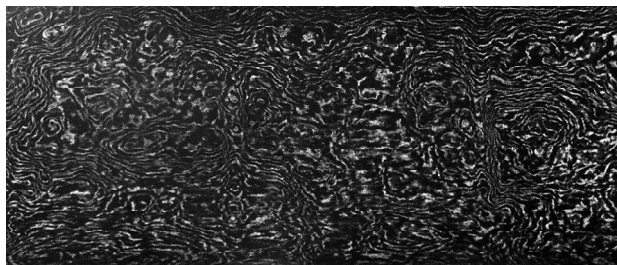


Рис. 2

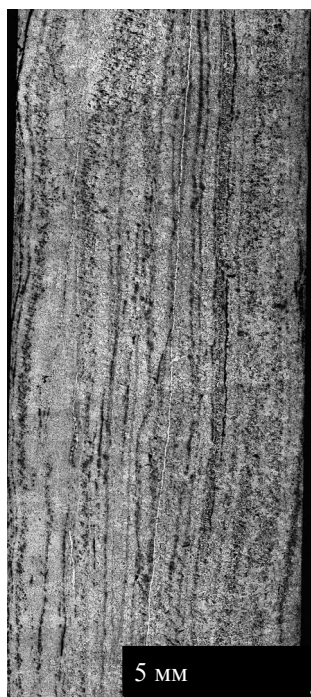
Многие считают, что известный в Европе со времен средневековья термин «дамасская сталь» был изобретен крестоносцами, испытавшими на своих щитах и доспехах все достоинства восточных клинков, изобилием которых всегда славились базары старого Дамаска. Но оказывается, что термины «дамаск» и «дамасская сталь» вообще не имеют никакого отношения к городу Дамаску. В античной Греции использовалось несколько терминов для оружей-

ной стали, в числе которых самый древний – это «адамас» Гесиода, который употреблял это слово в своей «Теогонии» уже в IX в. до н. э. Вслед за Гесиодом словом «адамас» пользовались Пиндар, Геродот, Платон и Плутарх. Из греческого языка это слово перешло в латынь как *adamas* и применялось для обозначения железа, стали и вообще очень твердых субстанций. Позже, превратившись в *adamant*, это слово стало употребляться в английском, французском и даже русском языках как синоним алмаза, и в конце концов все это стало поводом для превращения термина «адамас» в «дамаск».

Какого-либо секрета древнего искусства дамаска никогда не существовало. Дамасские клинки куют из специальным образом деформированных блоков неоднородной стали со слоистой структурой. Такие блоки получают кузнечной сваркой пакетов полос и стержней из сталей различных сортов. Несмотря на кажущуюся простоту этой идеи, искусствоковки дамасской стали покорялось далеко не каждому кузнецу-оружейнику и требовало помимо таланта еще и многолетней практики. Поэтому кузнецов по дамасской стали во все времена было не так уж много, и работали они только в лучших оружейных мастерских.

Технология дамасской стали была разработана, вероятно, еще до начала христианской эры, но металлургам и археологам пока удалось исследовать только фрагменты вооружения из дамаска с возрастом менее двух тысячелетий – начиная со II столетия нашей эры.

При изготовлении дамаска в процессе кузнечной сварки полос различных по химическому составу сталей значительная часть энергии удара молота преобразуется в небольшой массе металла в области контакта свариваемых полос. Помимо деформации металла эта энергия расходуется на локальное импульсное повышение давления до десятков тысяч атмосфер и кратковременный перегрев тонких слоев свариваемых металлов. При этом происходит быстрое обезуглероживание соприкасающихся тонких слоев свариваемых металлов, которые «спаиваются» образовавшимся почти чистым железом. Макроструктура дамасской стали демонстрирует множество светлых «сварочных швов», представляющих собой тонкие слои феррита, образовавшиеся в областях контакта полос металла при кузнечной сварке (рис. 3).



Слоистая макроструктура музейных дамасских сталей сложена из чередующихся плоских слоев низкоуглеродистой ( $C = 0,2...0,3$  мас. %) и высокоуглеродистой стали ( $C = 0,7...0,9$  мас. %) с плотностью обычно от 30 до 100 слоев на миллиметр [1], [2].

Слово «булат» (от персидского «пулад» и арабского «аль-фулад» – оружейная сталь) вошло в русский язык только в конце XV в. после возвращения из Индии русского путешественника, тверского купца Афанасия Никитина. До этого «булат» на Руси называли «красным укладом». В описях Оружейной палаты 1687 г. «булатом» называют только металл, ковавшийся из особых слитков – «вутцев», и никогда не путают с «красным» или «травчатым» железом – дамаском. В Европе и США булат принято называть «вутц-сталью» (Wootz Steel) или «настоящей дамасской сталью» (Genuine Damascus Steel). Последнее название возникло потому, что среди европейских оружейников долго бытовало мнение, что дамасская сталь всего лишь имитация, подражание настоящему «булату».

Рис. 3

Современное представление о «булате» сформировалось на основе изучения индийского и персидского оружия эпохи персидской династии Сефевидов (1502–1722 гг.). Расцвет искусства «булата» в Индии и Персии пришелся на годы правления шаха Аббаса I (1587–1629 гг.) и шаха Сафи (1629–1642 гг.). К этому короткому периоду относится более 70 % всех музейных булатных клинков. Большинство булатного оружия из северо-западной Индии, в которой уже с XIV в. формировалась своеобразная индо-персидская культура, изготовлено по персидской технологии, что дает повод использовать термин «индо-персидский булат». Короткая эпоха производства «булата» в Индии и Персии оставила потомкам много технологических загадок и необычных легенд. До сих пор металлурги не могут до конца понять всех особенностей сложной технологии индо-персидского «булата».

Слоистая макроструктура булатного клинка сложена регулярно чередующимися слоями достаточно однородного металла матрицы толщиной 40...120 мкм (на рис. 4, 5 – серые поля) и слоями металла, обогащенного эллиптическими или почти сферическими конгломератами частиц цементита, толщиной обычно 25...60 мкм (на рис. 4, 5 – светлые группы частиц). Конгломераты цементита встречаются разной формы – от округлых диаметром 5...25 мкм до продолговатых с отношением осей 2...5. Количество цепочек конгломератов цементита, формирующих ширину высокоуглеродистого слоя в булате, обычно 4–6, но может достигать 10. Микроструктура матрицы клинка – чаще всего перлит, бейнит или закалочный мартенсит, в зависимости от характера заключительной термической обработки клинка. Достаточно часто встречаются и мягкие матрицы со значительным содержанием феррита. Таким образом, «булат» – это двухкомпонентный железоуглеродистый композит с регулярной слоистой структурой с плотностью обычно 30–50 слоев на миллиметр. Разница в содержании углерода в слоях структуры «булата» оказывается порядка 3 %, намного превышая этот показатель для типичных дамасских сталей: 0,7...1 %. Соотношение объемов (или весовых частей) среднеуглеродистой (0,6...0,8 % C) матрицы и металла с высоким (3...4 % и более) содержанием углерода в составе цементита в булатах обычно 1(2):1 [1], [2].

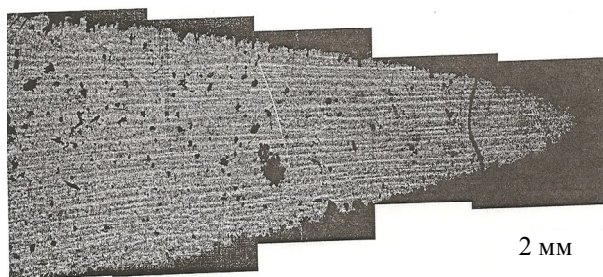


Рис. 4

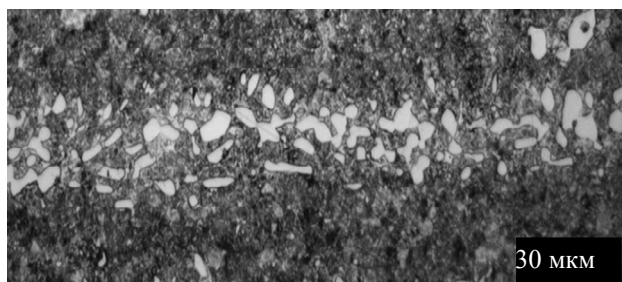


Рис. 5

В процессе музейной экспертизы и атрибуции холодного оружия сложнее всего надежно отличить оружие из дамасской стали от изделий из булата. До сих пор основанием для заключения экспертов служит анализ узоров на металлах, так как применение современных методов химического микроанализа и структурного металлографического анализа ограничено музейными требованиями применять только неразрушающие методы исследования. Анализ узоров на оружии, к сожалению, даже у лучших экспертов дает до 30 % ошибочных заключений. Это связано с тем, что в последние 3 столетия многие оружейные мастерские имитировали «булат» особыми сортами дамасской стали и делали это весьма успешно. В связи с этим разработка надежных неразрушающих методов экспертизы булата и дамасских сталей весьма актуальна.

Критерием оценки структуры булата при использовании неразрушающих методов может служить такой параметр, как скорость ультразвука в материале. Поскольку булат сочетает в себе одновременно 2 типа неоднородностей (регулярные неоднородности слоистого и неоднородности случайного характера), будем использовать понятие «эффективной» скорости. Структура булата может быть представлена в упрощенном виде (рис. 6), размеры включений и расстояния между ними малы по сравнению с длиной волны, распространяющейся в среде ( $\lambda \ll a, d$ ).

Чтобы получить выражения для скоростей волн в булате, необходимо знание эффективных параметров слоя с включениями, для определения которых были рассмотрены 2 способа: способ эффективной слоистой среды с объемной структурой и способ слоистой среды, содержащей последовательность плоских протяженных несплошностей (ППН).

В первом случае слой с включениями может быть рассмотрен как эквивалентная упорядоченная периодическая структура типа кубической решетки сферических включений, которая внедрена в изотропную твердую упругую среду с параметрами  $\rho_1, \lambda_1, \mu_1$ , образуя препятствие в виде объемной протяженной неоднородности с периодической структурой (рис. 7).

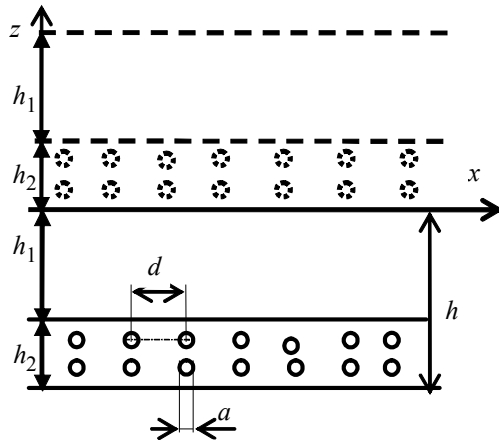


Рис. 6

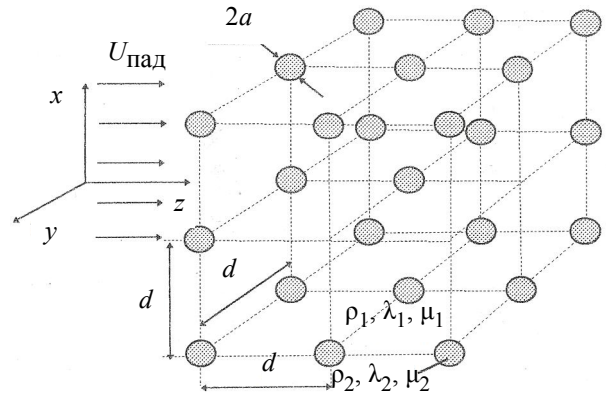


Рис. 7

Для случая нормального падения упругих плоских волн, длина которых существенно превышает период решетки  $d$  и радиусы включений  $a$ , дисперсионные уравнения, позволяющие определять значения эффективных фазовых скоростей продольной и поперечной волн соответственно, имеют вид [3]:

$$\frac{a_3 (cn_l)^5}{i(k_{l1}a)^3} - \left( \frac{2a_3 + a_1}{i(k_{l1}a)^3} - \frac{1}{3\beta} \right) (cn_l)^3 - \frac{(a_2 - a_4)(cn_l)^2}{i(k_{l1}a)^3} + \left( \frac{2a_1}{i(k_{l1}a)^3} - \frac{1}{3\beta} \right) (cn_l) + a_0 = 0,$$

$$\frac{b_2 (cn_t)^3}{i(k_{t1}a)^3} - \left( \frac{b_1}{i(k_{t1}a)^3} + \frac{1}{\beta} \right) (cn_t)^2 + \frac{2b_2 + 3b_4}{i(k_{t1}a)^3} cn_t + \left( \frac{2b_1 + 3b_3}{i(k_{t1}a)^3} - \frac{1}{\beta} \right) = 0,$$

где  $a_0$ – $a_4$ ,  $b_1$ – $b_4$  – амплитудные коэффициенты, полученные исходя из задачи рассеяния на единичной упругой сфере;  $cn_l$ ,  $cn_t$  – отношение скорости распространения волн во вмещающей среде к эффективной скорости распространения волн в микронеоднородной среде;

$\beta = \frac{4\pi a^3}{3d^3}$  – объемная концентрация включений.

В другой постановке микroneоднородный слой был рассмотрен как вещество, содержащее бесконечные, равномерно расположенные параллельные плоскости с известными коэффициентами отражения  $R = R_1 + iR_2$  и прохождения  $D = D_1 + iD_2$  (рис. 8) в случае, когда длина волны и расстояние между несплошностями существенно превышают толщину единичной прослойки.

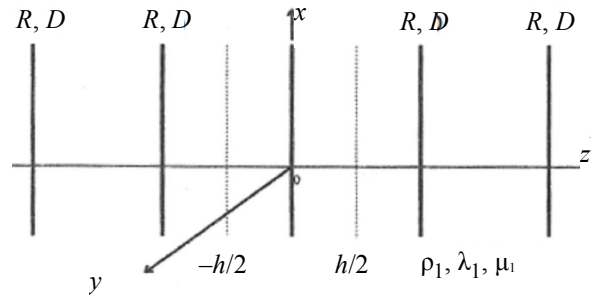


Рис. 8

Дисперсионное уравнение записывается следующим образом [3]:

$$2 \cos(qh) = D \left( \frac{(D^2 - R^2 - 1)e^{ik_l h}}{2} + \cos(k_l h) \right),$$

где

$$Q = \frac{D2[F1 \cos(k_l h) - F3 \sin(k_l h)] - D1[F2 \sin(k_l h) + F3 \cos(k_l h)]}{2D^2},$$

$$F1 = D1^2 - D2^2 - R1^2 + R2^2 + 1,$$

$$F2 = D1^2 - D2^2 - R1^2 + R2^2 - 1,$$

$$F3 = 2(D1D2 - R1R2).$$

В случае нормального падения поперечной волны дисперсионное уравнение аналогично.

Выражения для скоростей распространения волн в булате могут быть определены по методу Л. М. Бреховских [4] исходя из модели (рис. 6). Рассмотрены 2 частных случая: распространение вдоль и поперек слоев.

В направлении оси  $x$  (вдоль слоев) должны выполняться условия непрерывности и периодичности:

$$U_{1x}(0) = U_{2x}(0), \quad U_{1z}(0) = U_{2z}(0), \quad Z_{1x}(0) = Z_{2x}(0), \quad Z_{1z}(h_1) = Z_{2z}(0),$$

$$U_{1x}(h_1) = U_{2x}(-h_2), \quad U_{1z}(h_1) = U_{2z}(-h_2), \quad Z_{1x}(h_1) = Z_{2x}(-h_{2x}), \quad Z_{1z}(h_1) = Z_{2z}(-h_2).$$

При подстановке в граничные условия соответствующих выражений для компонент деформации и тензора напряжений получим дисперсионное уравнение для определения значений эффективного волнового числа  $\xi$ , а следовательно, и эффективную скорость продольной волны  $c_{lef} = \frac{\omega}{\xi}$  вдоль слоев:

$$4(\mu_1 - \mu_2)^2 X_1 X_2 + \omega^2 \rho_1 \left[ \frac{\omega^2 \rho_1}{\xi^2} - 4(\mu_1 - \mu_2) \right] X_2 \operatorname{tg} \left( \frac{\beta_1 h_1}{2} \right) + \omega^2 \rho_2 \left[ \frac{\omega^2 \rho_2}{\xi^2} + 4(\mu_1 - \mu_2) \right] \times \\ \times X_1 \operatorname{tg} \left( \frac{\beta_2 h_2}{2} \right) - \left( \frac{\omega^4 \rho_1 \rho}{\xi^2} \right) \left[ Y_1 \operatorname{tg} \left( \frac{\beta_2 h_2}{2} \right) + Y_2 \operatorname{tg} \left( \frac{\beta_1 h_1}{2} \right) \right] = 0,$$

$$X_1 = \xi^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_1 h_1}{2}\right) + \alpha_1 \beta_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 h_1}{2}\right) \quad Y_1 = \xi^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_1 h_1}{2}\right) - \alpha_1 \beta_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 h_1}{2}\right),$$

$$X_2 = \xi^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_2 h_2}{2}\right) + \alpha_2 \beta_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_2 h_2}{2}\right) \quad Y_2 = \xi^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta_2 h_2}{2}\right) - \alpha_2 \beta_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_2 h_2}{2}\right).$$

В направлении оси  $z$  (поперек слоев) для продольной волны граничные условия имеют вид:

$$u_{1z}(0) = u_{2z}(0), \quad u_{1z}(h_1) = u_{2z}(-h_2), \quad v_{1x}(0) = v_{2x}(0), \quad v_{1x}(h_1) = v_{2x}(-h_2).$$

После соответствующих подстановок дисперсионное уравнение выглядит следующим образом:

$$\cos(k_{\text{lef}} h) = \cos(k_{11} h_1) \cos(k_{12} h_2) - \frac{1 + s_l}{2s_l} \sin(k_{11} h_1) \sin(k_{12} h_2),$$

$$s_l = \frac{(\lambda_2 + 2\mu_2) k_{12}}{(\lambda_1 + 2\mu_1) k_{11}},$$

где  $k_{\text{lef}}$  – эффективное волновое число,  $c_{\text{lef}} = \frac{\omega}{k_{\text{lef}}}$  – эффективная скорость распространения продольной волны поперек слоев.

На основании полученных аналитических выражений в среде MathCAD построены графические зависимости скоростей эффективных продольных волн от параметров структуры булата для случая слоистой среды, содержащей последовательность плоских протяженных несплошностей (рис. 9, 10). На рис. 9 изменяемый параметр – толщина слоя с включениями, частоты 1, 5, 10 МГц. На рис. 10 изменяемый параметр – объемная концентрация включений, частота 10 МГц.

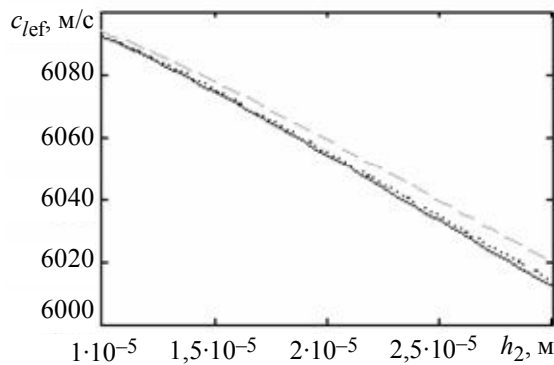


Рис. 9

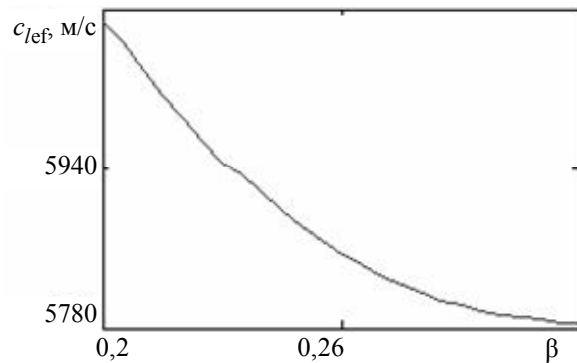


Рис. 10

Анализ графических зависимостей показывает значительные отличия в значениях скоростей распространения продольных волн, что объясняется возникающей анизотропией исследуемого материала. Сравнение результатов двух подходов дает незначительное отличие по значениям параметров эффективной среды, следовательно, обе модели среды, использованные при расчетах, равнозначны. Однако в случае слоистой среды, содержащей последовательность ППН, не требуется учета фактического размера включений.

Были проведены экспериментальные исследования скоростей продольных волн с помощью дефектоскопа ISONIC 2006. Измерения в поперечном направлении осуществлялись эхометодом, в продольном – теневым методом на частоте 10 МГц. Результаты приведены в таблице.

| Скорость, м/с | Марка стали |             |            |            |           |           |                    |
|---------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|--------------------|
|               | «Дамаск» 24 | «Дамаск» 48 | «Булат» Т2 | «Булат» Т4 | Сталь У8А | Сталь Х2  | Легированная сталь |
| Вдоль слоев   | 5844 ± 42   | 5790 ± 36   | 6090 ± 29  | 6034 ± 33  | 5994 ± 39 | 6034 ± 33 | 6012 ± 36          |
| Поперек слоев | 5782 ± 33   | 5717 ± 34   | 5894 ± 36  | 5894 ± 44  | 5966 ± 26 | 5914 ± 34 | 5932 ± 34          |

Из полученных результатов видно, что дамасская сталь обладает значительно меньшей скоростью распространения ультразвука.

Еще одна особенность дамасской стали – наличие хорошо заметной трансформации продольных волн в поперечные. Для других марок стали трансформация заметна значительно меньше. На рис. 11 приведены А-развертки, снятые с поверхности исследуемых образцов, для «дамаска» 48 (рис. 11, а), для «булата» Т4 (рис. 11, б), для стали У8А (рис. 11, в).

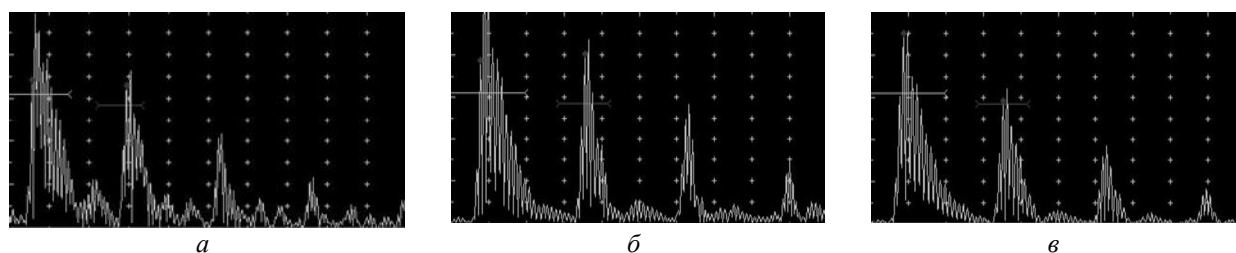


Рис. 11

Были сняты спектральные характеристики сигнала, прошедшего через материал. На рис. 12 представлены суммарные спектры первого и второго донных сигналов. Хорошо видно, что положение максимумов спектра для различных материалов различно. Смещение максимумов спектров для дамасской стали и булата относительно максимумов спектров для легированных сталей в область низких частот связано с увеличением коэффициента затухания для дамасской стали и булата. При сравнении булатов Т2 и Т4 не наблюдается сдвига частоты, но происходит увеличение амплитуды «нижней» гармоники и одновременное уменьшение амплитуды «верхней», что также характеризуется ростом затухания.

Исследовано изменение частоты максимумов спектров донных импульсов. Для всех материалов наблюдается увеличение частоты прошедшего сигнала до определенного расстояния и последующий спад частоты. На рис. 13 по оси абсцисс отложено расстояние, по оси ординат – частота максимума спектра донных сигналов: 1 – У8А, 2 – Х2, 3 – легированная сталь, 4 – Д24, 5 – Д48, 6 – Т2, 7 – Т4. Видно, что для различных материалов увеличение частоты носит разный характер. Этот параметр также можно учитывать для оценки структуры металла.

Введен безразмерный критерий  $K$ , численные значения которого заметно различаются для булатов, дамасских сталей и однородных сталей:

$$K = \frac{R_{\max} F_{\max}}{v - v_0},$$

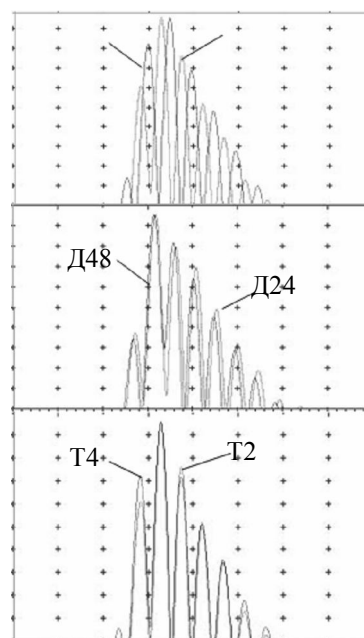


Рис. 12

где  $R_{\max}$  – положение максимума по оси абсцисс (рис. 13), м;  $F_{\max}$  – частота максимума спектра (рис. 13), Гц;  $v$  – скорость поперек слоев (таблица) со средним значением  $\bar{v} = 5871$  м/с. Такой критерий наглядно разделяет все 3 исследованных класса металлов (рис. 14).

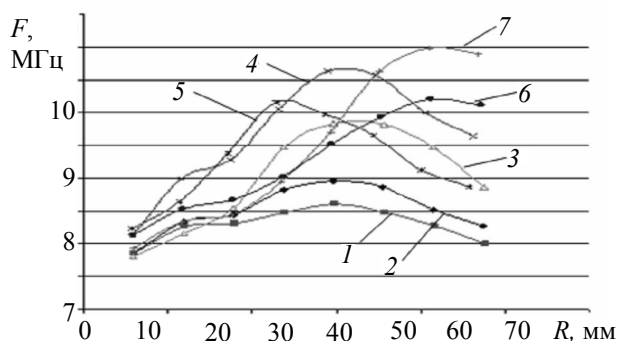


Рис. 13

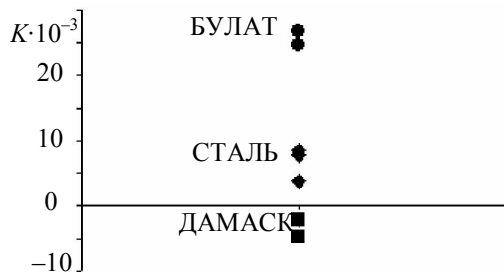


Рис. 14

Сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими расчетами оказались удовлетворительным. В качестве информативных параметров экспертизы и оценки структуры булата могут быть рекомендованы параметры скоростей распространения ультразвука, а также спектральные характеристики отдельных информативных сигналов или их совокупности. Полученные результаты дают хорошую основу для дальнейших исследований в данном направлении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таганов И. А., Калинин Б., Нечаев А. Тайное клеймо Люцифера на булате // Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. 2009. № 3. С. 78–84.
2. Таганов И. А. Закат легенд о булате // Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. 2009. № 11. С. 92–97.
3. Аббакумов К. Е. Рассеивающие свойства неоднородностей металлоизделий в задачах ультразвуковой дефектоскопии: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
4. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. 2-е изд. М.: Наука, 1973. С. 57–66.

*K. E. Abbakumov, I. G. Sidorenko, I. N. Taganov, A. V. Teplyakova*

### ULTRASONIC METHODS OF THE MULTILAYER METAL STRUCTURE INVESTIGATION

*Model of the multilayer structure of Wootz Steel is proposed. Method for estimating the parameters of microinhomogeneous media is developed for a model of the Wootz Steel. The analysis of the velocity of P-waves propagation in Wootz Steel is conducted for different orientation of layers. Based on the study of the ultrasound propagation velocity and spectral characteristics of individual informative signals, these characteristics can be recommended as informative parameters of the Wootz Steel structure.*

**Wootz Steel, velocity of P-waves, wave transformation, spectral characteristics of signals**



УДК 62.316:454.5

*Е. П. Попечителев, К. Н. Болсунов*

## **БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ГОТОВНОСТИ К СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ МАЛЫХ ГРУПП ОПЕРАТОРОВ**

*Рассмотрены структуры биотехнических измерительно-вычислительных систем, предназначенные для проведения индивидуального или группового эксперимента с малой группой специалистов. Эти системы позволяют оценить функциональные возможности каждого члена группы в рамках группового эксперимента, а также уровень взаимопонимания всех членов группы при совместном решении групповых визуальных тестов.*

**Малая группа, визуальные тесты, биотехнические измерительно-вычислительные системы, полосковый тест, гомеостатические методики**

В работе [1] был рассмотрен класс гомеостатических методик, предназначенный для изучения функциональных характеристик малых групп специалистов, занятых решением общей профессиональной задачи. Все они основаны на формировании визуальных тестовых изображений, которые включают ряд фрагментов с разными управляемыми параметрами. При этом все вместе фрагменты организуют некоторое изображение, содержание которого определяет общую задачу – общий групповой тест, а отдельные его фрагменты образуют задания для каждого члена группы. Задачей группы является приведение общего изображения к некоторому виду – эталонному изображению, которое наблюдают все участники эксперимента на экране коллективного пользования. На том же изображении можно наблюдать вклад каждого участника в общий результат. При формировании общего изображения создаются условия совместной работы за счет применения методик гомеостатического типа, когда действия каждого участника эксперимента влияют на результат действий всех других членов группы.

В качестве тестового изображения рекомендованы так называемые «полосковые символы» – изображения нескольких помещенных друг за другом полос разной ориентации, ширины, высоты и цвета. Такие символы могут отличаться разными степенями свободы, т. е. разным числом параметров, которыми должен управлять каждый член группы. Набор количества полос, их одновременно регулируемых параметров, пространственных положений и исходных размеров позволяет предложить большое число тестовых изображений разной

сложности. Тем самым обеспечиваются широкие методические возможности для исследования совместной работы малой группы. Предполагается, что для этих необходимы специальные биотехнические измерительно-вычислительные системы (БТИВС), в которой предусмотрены все необходимые узлы для формирования таких полосковых символов. В данной статье предложены варианты БТИВС для их реализации.

### Структурные схемы БТИВС

А. БТИВС для индивидуальной оценки параметров оператора. Все известные тестовые системы, предназначенные для индивидуального изучения функциональных характеристик человека при визуальном представлении тестового материала, хорошо известны (рис. 1).

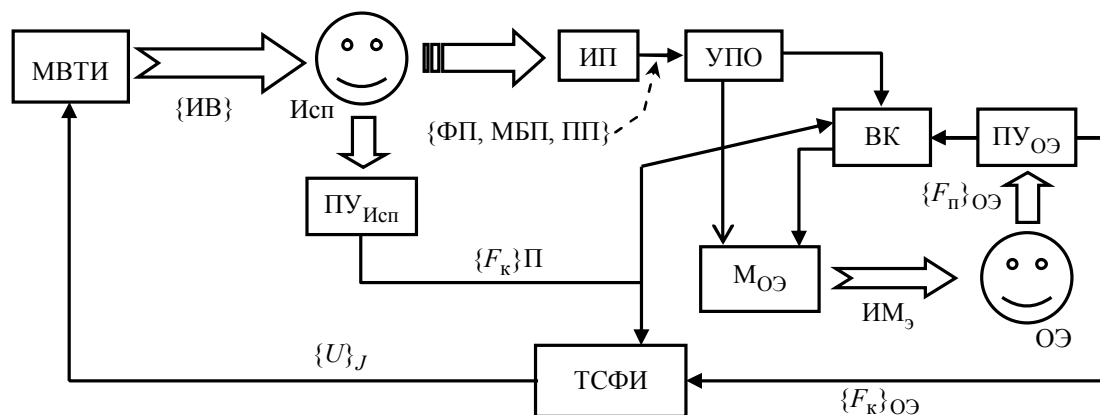


Рис. 1

Здесь: МВТИ – монитор визуальных тестовых изображений; ТСФИ – технические средства формирования изображений на МВТИ; ПУ<sub>Исп</sub> – пульт испытуемого (Исп), с которого он может передать команды управления параметрами сюжета; МОЭ – монитор организатора экспериментов (ОЭ); ПУ<sub>ОЭ</sub> – пульт управления ОЭ; ВК – вычислительный комплекс.

Дополнительно в структуре БТИВС предусмотрен измерительный канал, с помощью которого оценивается текущее состояние Исп. Этот канал включает набор измерительных преобразователей ИП и устройство предварительной обработки сигналов УПО. Вся экспериментальная информация представляется ОЭ на экране системы отображения информации (СОИ).

В схеме использован также ряд обозначений, отражающих: информационную модель данных эксперимента (ИМ)<sub>э</sub> (включает: параметры физиологических процессов (ФП), медико-биологическим показатели (МБП) и параметры поведения (ПП), поступающие с ИП); {F<sub>к</sub>}<sub>ОЭ</sub> – множество сигналов (команд) по выбору конкретного зрительного теста (они поступают с ПУ<sub>ОЭ</sub>), {F<sub>к</sub>}<sub>Исп</sub> – множество сигналов Исп по управлению параметрами изображения на МВТИ. Модель ИМ<sub>э</sub> отображается для организатора эксперимента на СОИ после обработки всей экспериментальной информации на ВК. Другие обозначения: {U}<sub>э</sub> – множество сигналов для формирования ИВ; {F<sub>Исп</sub>}<sub>ОЭ</sub> – множество суждений у ОЭ о состоянии Исп и рекомендаций по плану эксперимента.

Используя тестовые сюжетные изображения, испытуемый управляет сюжетом через ПУ<sub>Исп</sub> в соответствии с полученным заданием привести исходное изображение к заранее оговоренному виду. Управляющие сигналы с ПУ<sub>Исп</sub> отражают принимаемые в каждый момент времени решения и являются экспериментальными данными, которые раскрывают его функциональное состояние или позволяют оценить ту или иную характеристику [2], [3].

Б. БТИВС для индивидуальной оценки характеристик операторов в групповом эксперименте. При формировании малых групп операторов (МГО) для совместной работы большое значение придается предварительной оценке индивидуальных характеристик каждого кандидата в такой группе. Причины такого отношения к индивидуальным параметрам обусловлены рядом факторов, имеющих в том числе и психологическую подоплеку. К ним, в частности, можно отнести такие явления, как процесс усиления доминантных реакций в присутствии других людей. Иногда лишь присутствие публики либо усиливает определенные реакции, если они хорошо усвоены, либо ухудшает результат деятельности человека. Известна также тенденция некоторых людей прилагать меньше усилий в том случае, когда они объединяют свои действия ради достижения общей цели, чем в случае индивидуального выполнения задания.

Перечисленные проблемы обуславливают высокую значимость технологий, позволяющих учитывать не столько потенциальные возможности каждого члена группы, сколько его реальные характеристики, которые могут проявить себя в ходе выполнения работы. Структура комплекса для изучения индивидуальных характеристик участников в групповом эксперименте приведена на рис. 2.

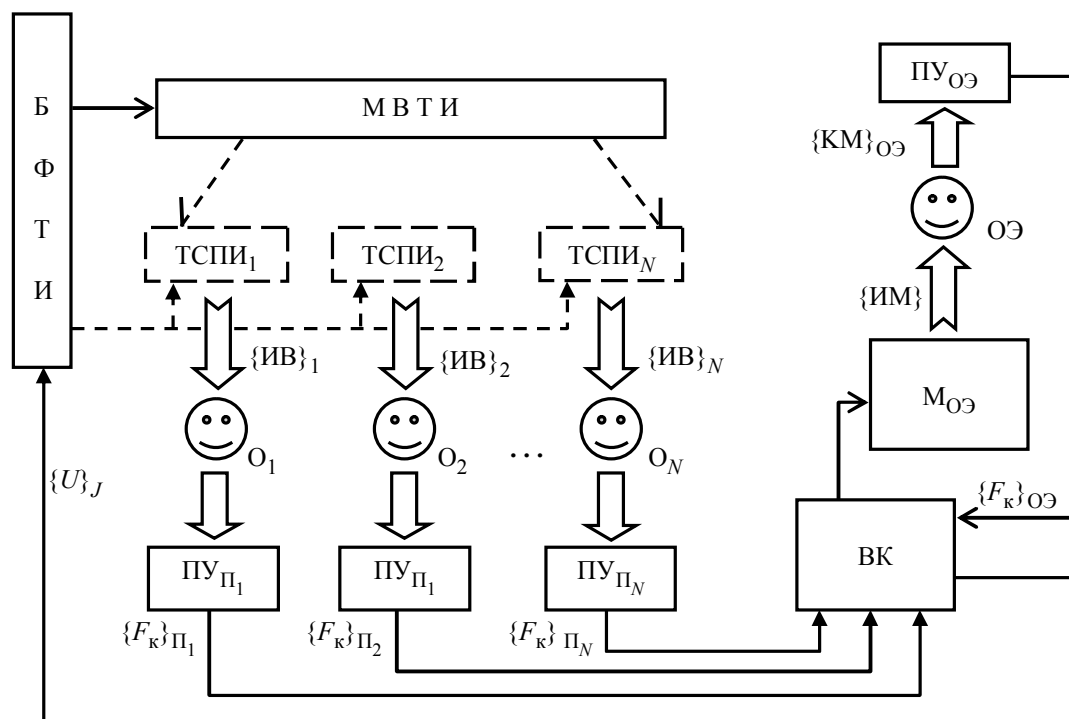


Рис. 2

Основные отличия этой структуры от представленной на рис. 1 касаются включения нескольких операторов  $O_1-O_N$ , каждый из которых имеет индивидуальный пульт управления (пульта  $ПУ_{1-N}$ ) сюжетом тестового изображения, представляемого на экране коллективного пользования, который служит монитором визуальных тестовых изображений. Сигналы от всех пультов поступают на вычислительный комплекс, где обрабатываются, а результат передается на монитор организатора эксперимента  $МОЭ$ . Сам  $ОЭ$  с помощью пульта управления, вычислительного комплекса и блока формирования тестового изображения БФТИ задает параметры теста. Таким образом, на  $МОЭ$  отображается сам тест и результат его выполнения каждым участником.

Кроме того, в структуру комплекса может быть включен ряд дополнительных устройств, например ТСПИВ<sub>*i*</sub> – технические средства преобразования информационных воздействий для *i*-го оператора ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Данные средства могут использоваться в случае применения специфических тестовых изображений. Например, при исследовании параметров бинокулярного зрения (стереоскопической остроты, фузионных резервов и т. п.) в качестве таких средств применяются различные варианты устройств сепарации элементов стереопары.

На рис. 2 включены информационные модели: {ИВ} – информационное воздействие, оказываемое на человека-оператора;  $\{F_k\}_i$  – команды операторов, поступающие через ВК на БФТИ и на М<sub>ОЭ</sub>; {ИМ} – информационная модель всего эксперимента, наблюдаемая его организатором ОЭ;  $\{F_k\}_{ОЭ}$  – команды организатора эксперимента по управлению тестами и исследуемыми параметрами;  $\{U\}_J$  – множество управляющих сигналов, используемых для формирования тестовых изображений с определением индивидуальных заданий;  $\{F_k\}_{П_i}, i = 1 \dots N$ , – команды от *N* операторов в ВК.

Однако основные проблемы выполнения исследований индивидуальных параметров членов МГО в групповом эксперименте связаны не только с обоснованием структуры БТИВС, но и с особенностями самих тестов, т. е. с выбором структуры тестовых изображений. Так как все операторы выполняют тесты одновременно, необходимо так выбирать изображения и приемы фиксации результатов испытаний для каждого оператора, чтобы при выполнении они не мешали друг другу. Разработанные на сегодняшний день тесты позволяют легко выбрать подходящие для изучения важные параметры: исследование зрительного анализатора, изучение психологических особенностей, оценка уровня владения навыками работы и др. Исследования, проводимые таким образом, позволяют получить целый ряд полезных результатов, способствующих раскрытию общих закономерностей групповой деятельности операторов.

Изучение личности с помощью опросников и других методов самооценки благодаря простоте инструментальных конструкций и легкости получения информации занимает центральное место в личностных исследованиях. Такие тесты легко формировать на экране мониторов, однако известно, что данные, полученные данным способом, в довольно сильной степени подвержены действию искажений. Но в настоящее время широкое применение получили так называемые *методики объективного тестирования с контролируемой экспериментальной ситуацией* [4]. Результаты, получаемые по таким методикам, отражают радикально новый подход к исследованию личности на основе объективного измерения поведения испытуемого без обращения к самооценке или оценкам экспертов. В основе методов объективного тестирования лежит принцип конструирования специальных микроситуаций, способствующих проявлению основных свойств личности. Объективизация результатов достигается разработкой строго формализованных процедур получения тестовых оценок, что позволяет получать одинаковые результаты всеми психологами независимо от их симпатий и уровня мастерства.

Перспективной формой организации объективных тестовых систем, позволяющих оценивать характеристики личности, может служить компьютерная игра, построенная на принципе рефлексии, т. е. с предоставлением возможности управления со стороны человека предме-

том деятельности на основе приобретаемого опыта и воображения без непосредственных информационных контактов с самим предметом. Рефлексивное управление способствует уравниванию сенсорных потоков, воздействующих на человека и вызывающих ответные реакции, и непрерывному гармоническому саморазвитию здорового человека.

Автоматизированные системы, использующие различные тестовые изображения, реакция на которые со стороны испытуемого дает информацию об изучаемых свойствах его личности, также относятся к классу биотехнических измерительно-вычислительных систем с тестовыми воздействиями (БТИВС ТВ) [2], [3]. Выбор изображения обычно осуществляется с учетом изучаемого личностного свойства и возраста испытуемого; владения им навыками работы с изображением; условиями труда и другими факторами.

Одним из наиболее простых тестовых исследований является изучение сенсомоторных реакций человека [5]. В качестве тестовых стимулов обычно используют хорошо зарекомендовавшие себя на практике стимулы трех модальностей: зрительные, тактильные и слуховые. Анализ возможных вариантов показал, что все три модальности являются достаточно адекватными для оценки состояния нервной системы человека. При этом они не заменяют друг друга, а дополняют оценку состояния, характеризуя его с разных сторон.

В качестве примера, характеризующего особенности формирования тестовых изображений для оценки индивидуальных параметров в групповом эксперименте, рассмотрим тестовые изображения, используемые для изучения характеристик зрения, в частности для оценки порогов цветоразличения. Параметры цветового восприятия часто являются профессионально значимыми для определения способности испытуемого к работе со зрительными нагрузками [5], [6].

Для оценки данной характеристики зрения необходимо сформировать цветное тестовое изображение  $J_2$ , одновременно предъявляемое всей группе. При этом должно задаваться изменение параметра цвета этого тестового изображения  $x_T$  относительно эталона  $x_3$  на величину  $\Delta x$  в диапазоне от подпорогового до надпорогового зрительного восприятия и должен фиксироваться момент времени различения тестовых элементов относительно эталона. Эта технология соответствует методу измерений «сравнение с эталоном», который широко используется в метрологии. Для фиксации момента различия цвета или отсутствия различий достаточно использовать нажатие одной клавиши. Оказывается, что подобная простая тестовая реакция позволяет проводить исследования ряда параметров цветового восприятия в групповом эксперименте.

Порог цветоразличения (ПЦР) – это минимальное изменение цветности двух объектов, при котором они различимы наблюдателем. ПЦР определяется в порогах цветоразличения Мак-Адама или шкале MPCD.

Так как информативным признаком изображения является цветность, для оценки этой характеристики зрения в групповом эксперименте необходимо синтезировать изображение  $J_2$ , состоящее из цветного однородного фона (эталона) с заданными параметрами цвета и тест-объектов, близких к используемым по профилю операторской деятельности. Тест-объекты последовательно предъявляются в различных местах экрана, их цветности будут дискретно (с учетом инерционности зрительно-моторной реакции человека) изменяться относительно эталона на известную величину цветовых различий (рис. 3), а каждый оператор фиксирует факт различения им тест-объектов.

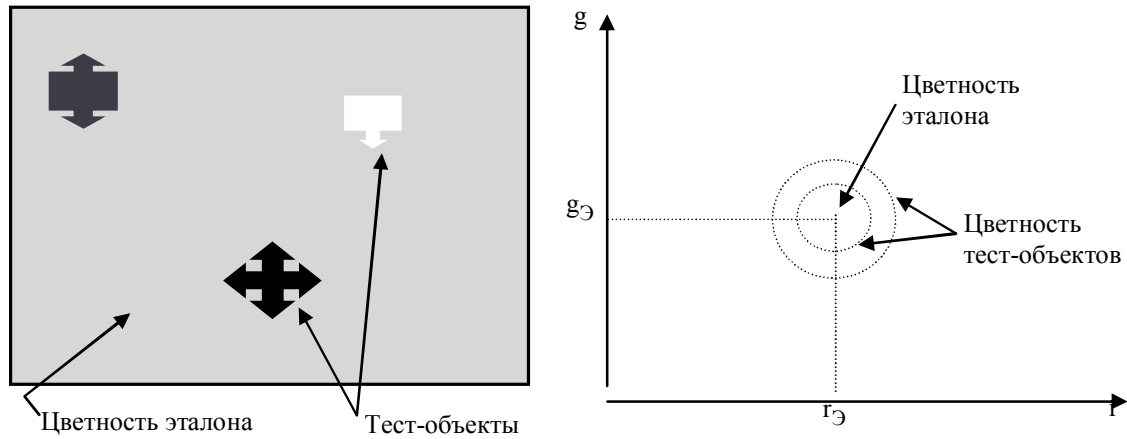


Рис. 3

Обозначим через  $C_э$  цвет фона. Он задается своими цветовыми координатами  $R, G, B$  или яркостями свечения люминофоров основных цветов  $L_{R_э}, L_{G_э}, L_{B_э}$ :

$$C_э = R_э r + G_э g + B_э b = L_{R_э} / L_{[R]} r + L_{G_э} / L_{[G]} g + L_{B_э} / L_{[B]} b,$$

где  $r, g, b$  – орты цветового пространства;  $L_{[R]}, L_{[G]}, L_{[B]}$  – единичные количества свечения люминофоров основных цветов. В дальнейшем для удобства записи допустим, что  $L_{[R]} = L_{[G]} = L_{[B]} = 1$ .

При использовании электро-оптического преобразователя с линейной характеристикой преобразования сигнал–свет яркости свечения люминофоров  $L_{R_э}, L_{G_э}, L_{B_э}$  задаются с помощью цветовых сигналов изображения красного  $U_{R_э}$ , зеленого  $U_{G_э}$ , и синего цветов  $U_{B_э}$ :  $L_{I_э} = S U_{I_э}$ ,  $I = R, G, B$ , где  $S$  – коэффициент (крутизна) преобразования сигнал–свет.

Выразим цвет тестовых объектов через сигналы изображения:

$$C_T = R_T r + G_T g + B_T b = S (U_{R_T} r + U_{G_T} g + U_{B_T} b).$$

Для оценки ПЦР стандартного колориметрического наблюдателя необходимо, чтобы угловые размеры тест-объектов были не менее  $4^\circ$  [6].

Для оценки порогов цветового зрения, необходимо, чтобы цветность тест-объектов, характеризующая координатами цветности  $r_T$  и  $g_T$ , функционально изменялась относительно эталонного фона с координатами  $r_э$  и  $g_э$  (рис. 3), а модули цвета эталона и тест-объектов  $M_э$  оставались неизменными и равными  $M_э = M_T = \text{const}$ :

$$M_э = R_э + G_э + B_э = S (U_{R_э} + U_{G_э} + U_{B_э});$$

$$M_T = R_T + G_T + B_T = S (U_{R_T} + U_{G_T} + U_{B_T}).$$

Различия в цветности  $\Delta C_R$  между эталоном и тест-объектами можно определить следующим образом:

$$\Delta C_R = [(r_э - r_T)^2 + (g_э - g_T)^2] = [(\Delta U_R^2 + \Delta U_G^2) / M^2]^{1/2},$$

где  $\Delta U_R = U_{R_э} - U_{R_T}$ ;  $\Delta U_G = U_{G_э} - U_{G_T}$ ;  $r_э = U_{R_э} / M_э$ ;  $g_э = U_{G_э} / M_э$ ;  $r_T = U_{R_T} / M_T$ ;  $g_T = U_{G_T} / M_T$  – координаты цветности эталона и тест-объекта соответственно.

Условия тестового задания (различение тест-объектов на эталонном фоне) у разных операторов будут выполняться при различных цветностях тест-объектов, для чего необходимо функционально изменять их цветность.

Пусть  $U_{R_T}(t)$ ,  $U_{G_T}(t)$  и  $U_{B_T}(t)$  – изменяющиеся во времени цветовые сигнала тест-объектов,  $\Pi_{C_R}$  – средневывборочное значение порога цветоразличения (корректнее назвать порог различения цветности), полученное по результатам статистических исследований.

Вероятность обнаружения цветовых различий можно описать соотношением

$$P(\Delta C_R) = (2\pi\sigma^2_{C_R})^{-1/2} \int \exp\{-(\Delta C_R - \Pi_{C_R})^2/\sigma^2_{C_R}\} \Delta C_R d(\Delta C_R),$$

где  $\Delta C_R$  – дисперсия порога цветоразличения.

При уменьшении цветовых различий до уровня порога  $\Delta C_R \rightarrow \Pi_{C_R}$  вероятность обнаружения  $P(\Delta C_R) \rightarrow 0.5$ .

Из этих соотношений видно, что ПЦР можно определить по цветовым сигналам изображения многократным тестированием испытуемого на различение тест-объектов с заданными цветовыми различиями и выявлением зоны цветности, в пределах которой обеспечивается заданная вероятность обнаружения тест-объектов. А одновременное наблюдение тестового изображения не мешает фиксировать особенности восприятия цветных деталей каждого испытуемого по моменту его реакции – нажатия управляющей клавиши.

Для оптимизации поиска пороговых значений сигналы изображения необходимо изменять по следующей технологии:

1. Задать координаты цветности фона  $r_3$ ,  $g_3$  и уровень яркости изображения (модуль цвета  $M_3$ ).

2. Вычислить значения цветовых сигналов эталона:

$$U_{R_3} = r_3 M_3; \quad U_{G_3} = g_3 M_3; \quad U_{B_3} = b_3 M_3 = (1 - r_3 - g_3) M_3.$$

3. Задать величину шага изменения цветовых различий  $\Delta \leq \Pi_{C_R}$ , исходя из требуемых точности результатов исследований и продолжительности исследований.

4. Вычислить значения цветовых сигналов тест-объектов:

$$U_{R_T} = r_3 M_3 + \Delta_R; \quad U_{G_T} = g_3 M_3 + \Delta_G;$$

$$U_{B_T} = b_3 M_3 + \Delta_B; \quad \Delta^2 = \Delta_R^2 + \Delta_G^2 + \Delta_B^2.$$

Величина  $\Delta$  определяет на диаграмме цветности концентрические окружности вокруг цветности эталона  $C_T(r_3, g_3)$ . Линейное изменение этого параметра во времени  $\Delta = \Delta(t)$  опишет траекторию приращения цветности в виде спирали Архимеда, что целесообразно использовать для оперативной оценки ПЦР у группы операторов.

Задание параметров цвета фона и закона приращения цветности тест-объектов позволяет однозначно оценить ПЦР испытуемых по значениям цветовых сигналов изображения.

С помощью рассмотренных методов можно изучать и другие характеристики членов группы, а также особенности деятельности и поведения конкретного человека в составе раз-

ных групп. Это позволяет получить полную информацию о его личных профессиональных навыках более достоверным и простым способом, чем это можно было бы сделать, ограничившись лишь индивидуальным изучением. Кроме того, на основании анализа личных параметров, полученных в групповом эксперименте, могут быть решены и другие задачи организации совместной деятельности операторов малых групп, например, оптимальное пространственное расположение членов коллектива друг относительно друга, оптимальный подбор групп для задач выполнения какой-либо производственной деятельности, обучения, лечения, реабилитации и т. п. Относительно несложные изменения приведенной структуры позволяют приспособить ее для изучения индивидуальных характеристик всех членов малой группы.

В. БТИВС для исследования совместной деятельности малой группы операторов. Небольшие изменения функционального назначения некоторых элементов системы и включение ряда дополнительных узлов по сравнению с представленными ранее структурами БТИВС позволяют предложить БТИВС для проведения групповых экспериментов (рис. 4).

Основное отличие этой структуры касается блока сопряжения команд БС, который подключает к ВК управляющие сигналы разных операторов. Каждый оператор, решая свою частную задачу, влияет на ход работы остальных членов коллектива в соответствии с выбранной гомеостатической методикой. Блок сопряжения команд является лишь передаточным звеном между каждым оператором и вычислительным комплексом, не вносящим никаких модификаций в создаваемый информационный поток  $\{F_k\}_{\Pi_N}$ .

В качестве МВТИ используется индикатор коллективного пользования, на котором каждый О видит общий и свой результаты, а также изображение общего задания, на котором выделены частные задания для каждого члена группы. Используя свой пульт управления, любой оператор может повлиять на общий результат решения теста. Каждое его управляющее движение изменяет его личное задание, но общий полосковый символ [1], используемый в данной реализации группового теста, автоматически изменяет размеры всех остальных полюсов. Таким образом создается взаимовлияние действий всех операторов. Блок ТСПИ в данном варианте теста должен быть общим; с его помощью легко модифицировать решаемую тестовую задачу на уровне ее восприятия.

Легко убедиться, что все структуры систем, представленные на рис. 1–3, могут быть совмещены в одну для проведения всей совокупности рассмотренных исследований.

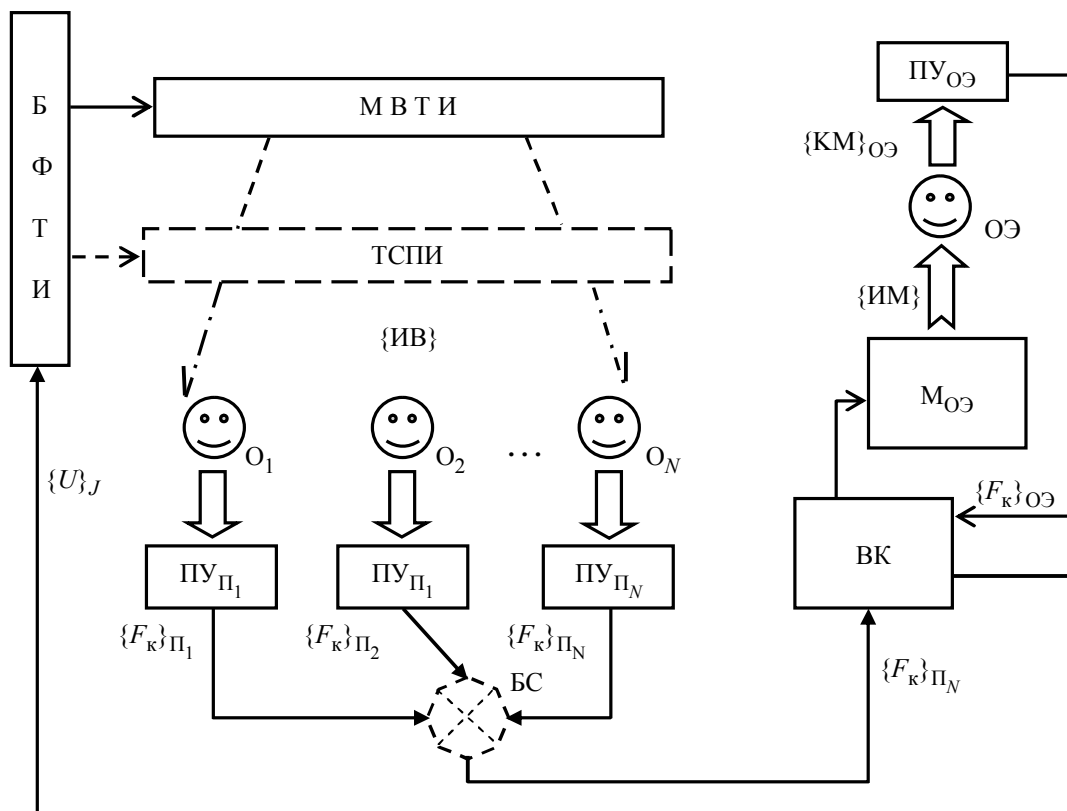


Рис. 4

Принципиальной проблемой, которая не позволяет проведение широких исследований групповой деятельности, является обработка результатов исследований и определение параметров, характеризующих работу группы в целом. Оценивать такие показатели нужно по результатам измерений, в качестве которых выступают управляющие действия  $O$ . Их регистрация не представляет трудностей, сложнее получить показатели работы всей группы, однако известны управляющие сигналы, которые использованы для формирования эталонной части изображения-теста. В конечном счете, именно эти напряжения должны быть установлены всеми операторами, чтобы было выполнено тестовое задание. Таким образом, основным показателем работы группы может быть точка в  $N$ -мерном сигнальном пространстве управляющих напряжений, а отклонение этой точки от точки, характеризующей эталонную часть задания, является показателем выполнения задания (пример такого отображения приведен в [1]). Теперь можно следить за траекторией перемещения рабочей точки, измерять величину ее отклонения от эталонной, оценивать разброс рабочих точек, диаметр площади их расположения и тому подобные характеристики, которые и дают основную информацию для расчета показателей совместной работы.

Рассмотренные в работе биотехнические измерительно-вычислительные системы характеризуют новое направление в исследовании групповой деятельности малых групп специалистов. Они позволяют не только организовать совместную работу малой группы путем использования визуальных тестовых изображений сложных сюжетов, но и оценивать индивидуальные свойства каждого члена группы до, в процессе и после выполнения экспериментов. Таким образом, данный подход позволяет совместить две основные задачи групповых исследований – организацию совместной работы и учет индивидуальных характеристик чле-

нов группы непосредственно в процессе такой работы. Способ организации совместной работы с помощью визуальных изображений предлагает значительное разнообразие конкретных методик по выявлению особенностей самих групп и учету влияния индивидуальных параметров членов группы на общий результат. Дальнейшее развитие этого направления связано с экспериментальной проверкой изложенных идей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попечителей Е. П., Болсунов К. Н. Методики организации функциональных исследований малой группы операторов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 3. С. 47–55.
2. Попечителей Е. П., Болсунов К. Н. Методики изучения групповой деятельности малых групп специалистов // Биотехнические системы в медицине и биологии. СПб.: Политехника. 2002. С. 110–115.
3. Попечителей Е. П., Ахлаков М. К., Болсунов К. Н. Тестовые системы в медико-биологических исследованиях: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 80 с.
4. Червинская К. Р., Щелкова О. Ю. Медицинская психодиагностика и инженерия знаний / Под ред. проф. Л. И. Вассермана. СПб.: Ювента; М.: Изд. центр «Академия», 2002.
5. Попечителей Е. П. Методики диагностики и частичной коррекции функционального состояния человека с использованием технологий тренировки и стимуляции его сенсомоторной реакции // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16, № 3. С. 203–209.
6. Попечителей Е. П. Электронный синтез цветных изображений как основа для изучения функций зрения // Техника средств связи. Сер. ОТ. 1982. Вып. 3. С. 78.

*E. P. Popechitelev, K. N. Bolsunov*

### *BIOTECHNICAL SYSTEMS OF ESTIMATION OF READINESS'S LEVEL TO JOINT WORK THE SMALL GROUPS OF OPERATORS*

*Considered the biotechnical systems, which are intended for the lead through of individual or group experiment with the small group of specialists. These systems allow estimating functional possibilities of every member of group within the framework of group experiment, and also level of the mutual understanding of all members of group at the joint decision the group visual tests.*

**Small group, visual tests, biotechnical instrumentation-calculable systems, images of «stripes», homeostatic methods**



УДК 004.021

*М. С. Кадацкая*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ МЕЖМОДУЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

*Рассматривается формирование отношений в библиотеке модулей вуза. Предложенный алгоритм позволяет формализовать включение в учебные планы модулей из библиотек и повысить эффективность процесса проектирования основных образовательных программ за счет автоматизации.*

### **Проектирование, модуль, межмодульные отношения, дерево модулей**

Учебный план представляет собой совокупность модулей, сгруппированных согласно отношениям между ними, т. е. он, как правило, содержит иерархию концепций предметной области и описывает важные свойства каждой концепции с помощью механизма «атрибут–значение». Связи между концепциями могут быть описаны с помощью дополнительных логических утверждений.

При разработке библиотек модулей и учебных планов решающая роль принадлежит человеку-эксперту. Он принимает решение о правильности формально построенного модуля, о принятии учебного плана. Причем последние действия разнесены во времени: модули строятся в основном до создания плана, но могут разрабатываться и в процессе его создания. Если множество планов содержит несоответствия регламентам или ресурсам, то в планы и модули могут вноситься изменения. Поэтому процедуры формирования планов обычно являются трудоемким ручным процессом.

Выделим три этапа проектирования учебных планов в соответствии с целями, достигаемыми в результате каждого этапа:

- 1) структуризация, определение размеров учебных модулей;
- 2) описание проблемной области, определение содержательной части учебного модуля;
- 3) задание преемственности, определение места учебного модуля в образовательной программе.

В данной статье рассматривается третий этап проектирования.

**Описание модулей.** Учебный модуль имеет следующие атрибуты:

- шифр,
- название,

- список модулей, входящих в него,
- тип (обязательный с привязкой к семестру, обязательный без привязки по семестру),
- кафедра,
- преподаватель (гарант модуля),
- цели (компетенции),
- тип (базовый, профессионально-ориентированный...),
- результаты обучения и критерии оценки результатов.

Для заполнения спроектированных блоков в ООП необходимо определить порядок изучения модулей.

Для упорядочения модулей внутри программы воспользуемся списками в структуре учебных модулей. Очевидно, что модули образуют древовидную структуру, представленную на рис. 1.

Дерево – одна из наиболее широко распространённых структур данных, эмулирующая древовидную структуру в виде набора связанных узлов, является связанным графом, не содержащим циклы. Деревья – динамические структуры данных, позволяющие компактно организовать данные.

Свобода выбора последовательности изучения дисциплин (модулей) основного учебного плана в системе зачетных единиц ограничена зафиксированными в учебном плане отношениями предшествования. Ряд модулей учебного плана могут не иметь предшествующих связей.

Рассматриваемые деревья модулей являются сильно ветвящимися и несбалансированными, так как количество предшествующих модулей нельзя уравнивать.

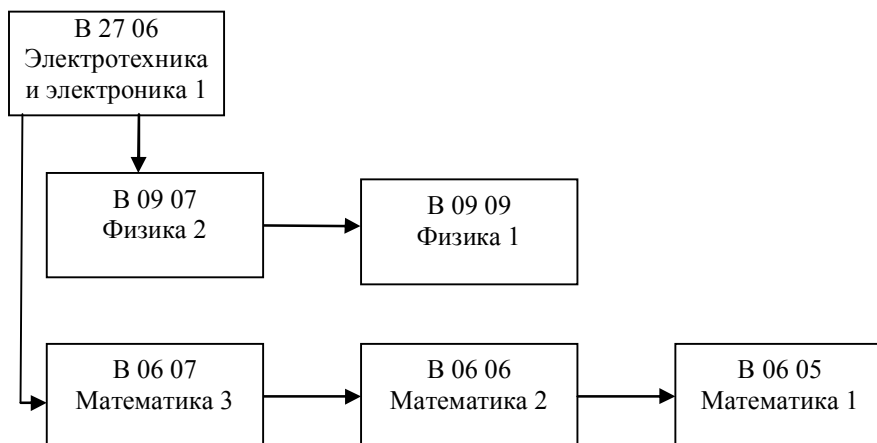


Рис. 1

Основной образовательной программе (ООП) вуза соответствует множество учебных модулей  $U = \{U_j\}$ ,  $j = 1 \dots m$ . Необходимо построить множество деревьев зависимых модулей  $T = \{T_i\}$ ,  $T_i \subseteq U$ ,  $i = 1 \dots n$  и  $n \leq m$ .

Лист дерева  $T_i = \{T_{ij}\}$ ,  $j = 1 \dots l_j$ ,  $1 \leq l_j \leq m$  – модуль, который не имеет модулей, предшествующих для изучения  $U_j$ .  $\text{Sons}_j = \emptyset$ ,  $\forall U_i, U_i \in U$ . Корень дерева  $T_{i1}$  – модуль, которого нет в списках предшествующих для изучения ни одного из модулей,  $P(T_i) = 1 \dots m$ .

Любой модуль, если он находится в списке предшествующих для изучения модулей  $\forall U_j$ ,  $U_j \in U$ , может принадлежать более чем одному дереву  $T_i$ .

**Алгоритмы формирования модели межмодульных отношений образовательной программы.** Построение отдельных деревьев из модулей внутри образовательных программ. Формирование  $T_i$ :

*Алгоритм 1.* Отбор корней. CountTrees – количество корней в  $U$ ; Tops – массив корней  $U$ ;  $U_j$ . Sons $_j = \{U_j$ . Sons $_{ji}\}$  – множество модулей предшествующих для изучения  $U_j$ ,  $i = 1 \dots n_j$  и  $n_j \leq m$ .

1. CountTrees = 0.
2.  $k = 1$ .
3. Если  $\forall i U_k \notin U_i$ .Sons $_i$ , то CountTrees = CountTrees + 1, Tops $_{\text{CountTrees}} = U_k$ .
4. Если  $k = m$ , то конец, иначе  $k = k + 1$  и переход к п. 3.

*Алгоритм 2.* Построение отдельных деревьев зависимых модулей. Определим построение поддерева  $T_{ij}$  как  $T_{ij} = T_{ij} \cup T_{ij}$ .Sons $_j$ , где  $T_{ij}$  – корень поддерева,  $T_{ij+1} = T_{ij}$ .Sons $_{j1}$ ,  $T_{ij+2} = T_{ij}$ .Sons $_{j2}$ , ... Глубина поддерева (количество вершин в поддереве)  $P(T_i) = P(T_i) + P(T_{ij}$ .Sons $_j)$ .

1.  $i = 1$ .
2. Строим дерево. Выбираем корень из Tops:  $T_i = \text{Tops}_i$ ,  $P(T_i) = 1$ ;  $j = P(T_i)$ .
3.  $T_{ij} = T_{ij} \cup T_{ij}$ .Sons $_j$ ,  $P(T_i) = P(T_i) + P(T_{ij}$ .Sons $_j)$ .
4.  $j_1 = P(T_i)$ .
5. Если  $j = j_1$ , то п. 9.
6.  $j = j + 1$ .
7.  $T_{ij} = T_{ij} \cup T_{ij}$ .Sons $_j$ ,  $P(T_i) = P(T_i) + P(T_{ij}$ .Sons $_j)$ .
8. Если  $j = j_1$  то п. 4, иначе п. 6.
9. Дерево построено,  $i = i + 1$ .
10. Если  $i > \text{CountTrees}$ , то п. 11, иначе п. 2.
11. Все деревья построены. Конец.

Полученные деревья  $T_i$  обладают следующими свойствами:

1. Ограниченное количество уровней  $T_i$ :

$$\text{Количество уровней } T_i = \begin{cases} 8, & \text{бакалаврская ООП;} \\ 9, & \text{ООП специалитета;} \\ 3, & \text{магистерская ООП.} \end{cases}$$

Если ограничение не выполнено, то возникла ошибка 1: неверно определен список предшествующих модулей для одного из модулей дерева. Действие: передать экспертам на согласование описание модулей дерева.

2.  $T_i$  может содержать повторяющиеся модули и поддеревья:

$\exists U_k = U_j$ , причем  $U_k, U_j \in T_i$ ,

$\exists T_{ij} = T_{ik}$ , причем  $T_{ij}, T_{ik} \in T_i$ .

3. Модули могут ссылаться друг на друга:

$\exists U_k, U_j \in T_i$ , такие что  $U_k \in U_j$ . Sons $_j$ ,  $U_j \in U_k$ . Sons $_k$ ,

Если такое случилось, то возникла ошибка 2: циклическая ссылка модулей. Действие: передать экспертам на согласование описание модулей дерева. Вероятно, эти модули должны изучаться одновременно.

4. Количество узлов на каждом уровне – произвольная величина.

5. Деревья  $T_i$  не сбалансированы:  $P(T_i) \neq P(T_j)$  [1].

Вывод:  $T_i$  являются избыточными и неоптимизированными.

Проведем процедуру оптимизации деревьев ООП: если модуль уже содержится в дереве на более высоком уровне (уровень с большим номером), то удаляем его вместе с поддеревом на более низком уровне (уровень с меньшим номером).

*Алгоритм 3.* Оптимизация дерева.  $T_i$  – дерево, в котором проводится удаление повторяющихся модулей и поддеревьев;  $p$  – количество узлов в исходном  $T_i$

1.  $j = 2$

2. Если  $\exists T_{ij}$  и  $\exists T_{ik} = T_{ik}$ , причем  $k \geq j$ , то удалить  $T_{ij}$  из  $T_i$ .

3.  $j = j + 1$ .

4. Если  $j > p$ , то п. 5, иначе п. 2.

5. Дерево оптимизировано. Конец.

Удаление ведется на низком уровне, для того чтобы образовались ветви дерева с максимальной глубиной, которая позволит определить положение модуля в семестре. Чем выше уровень модуля, тем раньше модуль должен изучаться.

Оптимизация дерева показана на рис. 2.

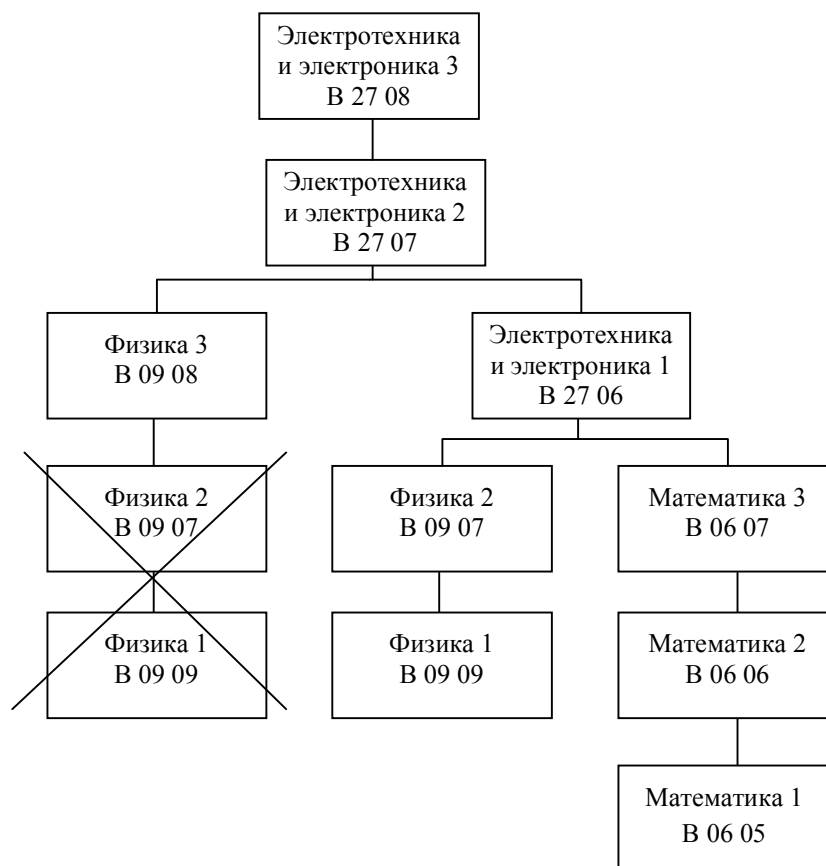


Рис. 2

После того как построены все деревья  $T_i$ , их необходимо объединить. Рассмотрим процесс для бакалаврской программы (8 семестров).

*Алгоритм 4.* Формирование графа ООП. Данный алгоритм приводит к объединению нескольких иерархических структур в сетевую.

Сеть является более общей структурой в сравнении с иерархией (деревом), так как отдельный узел может иметь произвольное количество непосредственно старших узлов, также как и произвольное количество непосредственно подчиненных узлов [2]. Иерархическая структура преобразовывается в сетевую следующим образом: деревья, показанные на рис. 2, заменяются одной сетевой структурой, в которой запись «Математика (общий курс) 1» входит в два групповых отношения.

Будем считать, что все деревья глубиной 8 содержат в качестве листьев самых длинных ветвей модули, которые изучаются в первом семестре. Считаем все модули, находящиеся на одном уровне, базой, относительно которой будут объединяться деревья, как показано на рис. 3.

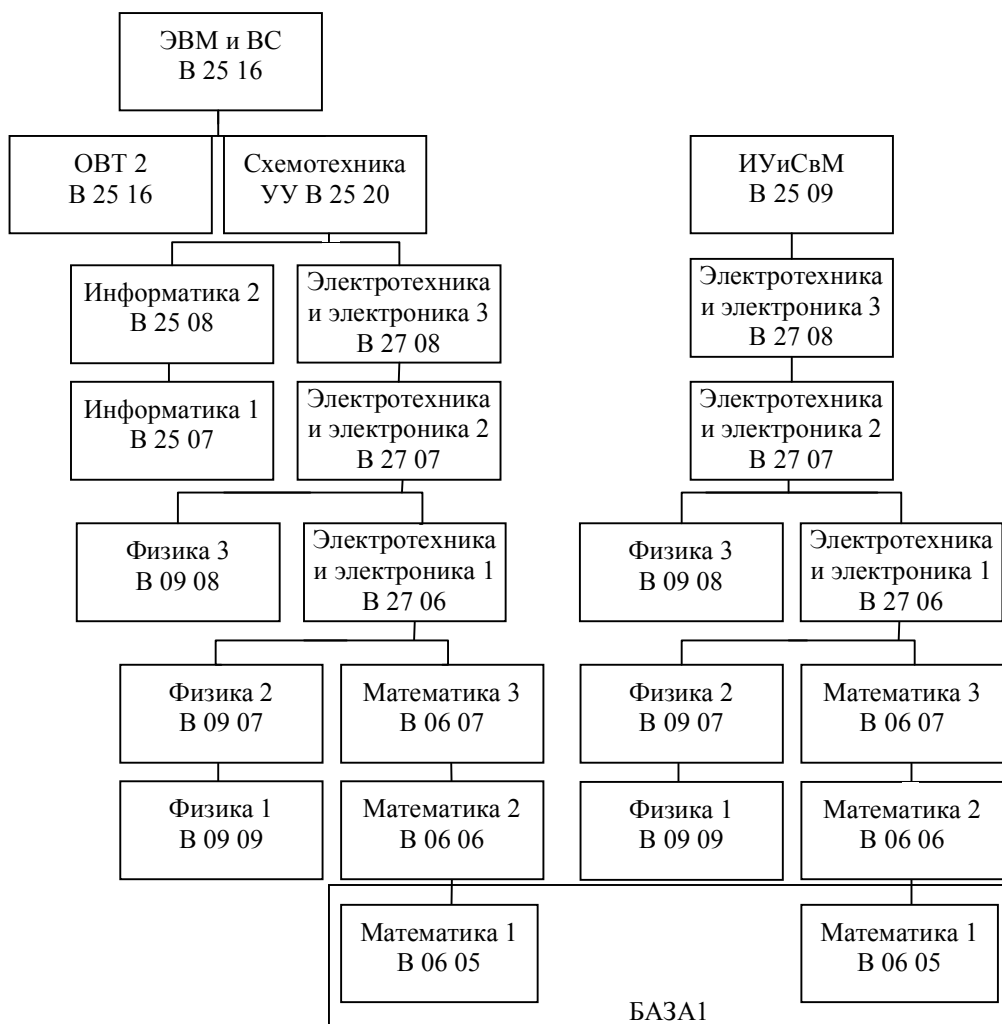


Рис. 3

1. Выбираем деревья с глубиной  $L = 8$ .
2. Формируем База $_L$ .
3. Выбираем  $B = T_{ij}$ ,  $B \in \text{База}_L$ , выбираем  $T_i$ .

4. Находим все  $T_n$ ,  $\exists T_{nk} = B$ , изменяем связи всех модулей предков  $T_{nk}$  с  $T_{nk} \forall n, k$  на  $B$ , удаляем модули  $T_{nk}$  из всех деревьев, кроме  $T_i$ .

5. Если  $\exists T_{ik} \in \text{База}_L$ , где  $k > j$  и  $T_{ij} \neq T_{ik}$ , то  $B = T_{ik}$  и к п. 4, иначе п. 6.

6. Семестр 9- $L$  сформирован.  $L = L - 1$ .

7. Если  $L = 1$ , то п. 8, иначе п. 2.

8. Граф ООП сформирован. Конец.

Для  $\text{База}_L$ ,  $L = 1..8$  существует ограничение: сумма трудоемкости всех модулей базы меньше или равна 30 кредитам. Если эта оценка больше 30 (проверить), то необходимо найти неверно описанный модуль 1-го уровня с помощью экспертной оценки дерева.

В заключение можно сказать следующее.

Приведенная технология разработки планов позволяет выявлять и сформировать устойчивые закономерности в структуре учебного плана (т. е. построения модели структуры плана) и включает в себя: построение модели блока, методом формирования базовых модулей; построение модели межмодульных отношений в виде сильноветвящегося дерева; формирования учебного плана из деревьев модулей.

Предложенное представление достаточно гибко и компактно за счет отсутствия дублирования представления модулей.

Алгоритмы не зависят от уровня программы, типа учебного заведения и могут быть использованы для формирования учебных планов, что позволит автоматизировать процесс формирования новых учебных планов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: MIT Press, 2009. 960 с.
2. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Структуры данных и алгоритмы. СПб.: Изд. группа Диалектика-Вильямс, 2009. 384 с.

*M. S. Kadatskaya*

### *DEVELOPING THE MODEL OF INTERMODULAR RELATIONS OF STUDY PROGRAM*

*There is considered the solution for forming the relations within the module library of a higher educational institution. The algorithm proposed allows formalizing the inclusion of library modules into the curricula and increasing the efficiency of designing the main study programs due to the process automation.*

**Designing, module, intermodular relations, module tree**



# **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

---

УДК 658.562

*Е. А. Рябина, В. В. Яценко*

## **МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПРОЦЕССОВ**

*Рассматривается метод непрерывного менеджмента процессов, упрощающий внедрение стратегии предупреждающих действий в малых и средних организациях за счет адаптации методов менеджмента для определения ключевых характеристик качества процессов и разработки планов управления.*

**Менеджмент процесса, ключевые характеристики качества, предупреждающие действия, план управления**

На сегодняшний день в менеджменте качества применяют две принципиально разные стратегии:

- реактивную, реализуемую с помощью корректирующих действий;
- проактивную (превентивную), реализуемую с помощью предупреждающих действий.

Проактивная стратегия предупреждающих действий направлена на факторы, влияющие на нежелательные последствия, в то время когда сами нежелательные последствия еще не произошли, а факторы уже обнаружены. Стратегия же корректирующих действий, несмотря на то, что она тоже направлена на факторы влияния, является апостериорной, так как нежелательные события уже произошли, и, следовательно, потери экономические, временные, социальные уже состоялись, а факторы еще не определены. В литературе такую стратегию иногда называют «управление по несчастным случаям» [1].

Стратегия предупреждающих действий направлена на поиск причин «вверх по течению» [1]. Одним из компонентов формирования требуемого качества на выходе процесса является идентификация потенциальных рисков на этапах процесса. Когда механизмы реализации такой стратегии уже отлажены, снижаются потери. Формализация требований потребителей процессов и анализ потенциальных рисков, необходимых для реализации стратегии предупреждающих действий, требуют от организаций значительных интеллектуальных и временных ресурсов, направленных на предварительное изучение процессов и последующее внедрение профилактических мер. Это является одним из основных препятствий для внедрения в России современных методов менеджмента качества.

В настоящей статье рассматривается внедрение стратегии предупреждающих действий на основе метода непрерывного менеджмента процессов (НМП) [2] (рис. 1). За счет адаптации сложных методов менеджмента к их применению в малых и средних организациях использование метода позволяет сократить ресурсы, необходимые для внедрения стратегии предупреждающих действий.



Рис. 1

Метод объединяет в себе реализацию всех составляющих менеджмента качества: планирования, обеспечения, управления, улучшения. В контексте метода НМП можно выделить четыре этапа (табл. 1).

Таблица 1

| Этап метода НМП                                                                                              | ИСО 9000     | Цикл PDCA |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|
| 1. Формирование операциональных определений характеристик качества                                           | Планирование | PLAN      |
| 2. Определение ключевых характеристик качества процессов                                                     |              |           |
| 3. Мониторинг, анализ и управление процессами на основе выделенных ключевых характеристик качества процессов | Обеспечение  | DO        |
|                                                                                                              | Управление   | CHECK     |
|                                                                                                              |              | AKT       |
| 4. Переопределение и стандартизация требований                                                               | Улучшение    |           |

• *Этап формирования операциональных определений характеристик качества.* Характеристики качества процессов формируются под влиянием требований заинтересованных сторон. На этапе планирования качества процессов определяются требования потребителя, которые должны быть переведены в измеряемые характеристики качества. В соответствии со стандартом ИСО 9000 [3] качество определяется на основе трех компонентов: требования, характеристики, соответствия. Для принятия решений о соответствии или несоответствии характеристик требованиям определяются методы измерения/испытания и методы анализа характеристик качества.

Для преобразования требований потребителей процесса в характеристики качества разработана методика формирования операциональных определений характеристик качества с применением терминологии стандарта ИСО 9000 [3], основанная на подходе, заложенном Э. Демингом [1]. Пример результата использования указанной методики приведен в табл. 2.

Таблица 2

| Требование (критерий)                             |                                                                                                             | Измерение и(или) испытание (тест) |          |                                                                                                                | Анализ (решение)                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Критерий                                          | Формулирование требования (критерия)                                                                        | Характеристика качества           | Ед. изм. | Процедура измерения и(или) испытания характеристики                                                            | Процедура анализа и принятия решения                                                                                                       |
| Оперативность обслуживания посетителей библиотеки | 1. Длительность обслуживания не превышает 5 мин.<br>2. % случаев превышения времени обслуживания $\leq 5\%$ | Время обслуживания                | Минута   | В течение месяца в контрольном листе «распределения характеристики качества» регистрируется время обслуживания | Требование выполнено, если по данным контрольного листка, собранным в течении месяца, % случаев превышения времени обслуживания $\leq 5\%$ |

• *Этап определения ключевых характеристик качества процессов.* На рис. 2 представлена модель системы управления процессами с обратной связью [4], [5].



Рис. 2

Такая схема управления процессом предполагает, что менеджеры не дожидаются появления несоответствий на выходе процесса, когда может пострадать потребитель, а, «прислушиваясь к голосу процесса», заранее оказывают воздействие на процесс, реализуя стратегию предупреждающих действий. Такая стратегия предполагает слежение за ключевыми характеристиками качества процесса и выбор вариантов действий при отклонении хода процесса от нормального протекания (например, нарушение стабильности процесса) по заранее установленному плану управления.

На этапе планирования необходимо определить характеристики качества процесса, измерение и анализ которых позволяют принимать опережающие меры и оперативно вмешиваться в ход процесса для выполнения установленных требований. Вследствие этого выделяют следующие группы характеристик качества процессов:

1) характеристики результата процесса (ХР) – выходные характеристики качества процесса, вытекающие из требований потребителя процесса (потребитель процесса может быть внутренним потребителем организации или одной из заинтересованных сторон);

2) внутренние характеристики процесса (факторы технологической последовательности – ФТП) – характеристики выполняемых в рамках процесса отдельных работ, которые влияют на характеристики результата этого процесса;

3) характеристики входа процесса (ХВ) – входные характеристики качества оказывают непосредственное влияние на характеристики результатов процесса, так как любой процесс формирует результат путем преобразования входов, обладающих присущими им характеристиками качества.

Любой процесс, независимо от его природы (обслуживание, образование, производство, проектирование и т. д.), состоит из последовательности работ или операций, образующих технологические последовательности (ТП) процесса. Эти технологические последовательности обычно описаны в технологических регламентах, процедурах, рабочих инструкциях или других документах процесса.

Каждая такая ТП формирует на выходе одну или несколько характеристик результата:  $ХР_1, \dots, ХР_k$  (рис. 3), которые вместе с результатами других ТП образуют общую совокупность характеристик результата процесса. Для процессов, которые взаимодействуют непосредственно с внешними потребителями, эта совокупность должна быть согласована с потребителями и по своим фактическим значениям должна удовлетворять их требованиям. Ха-

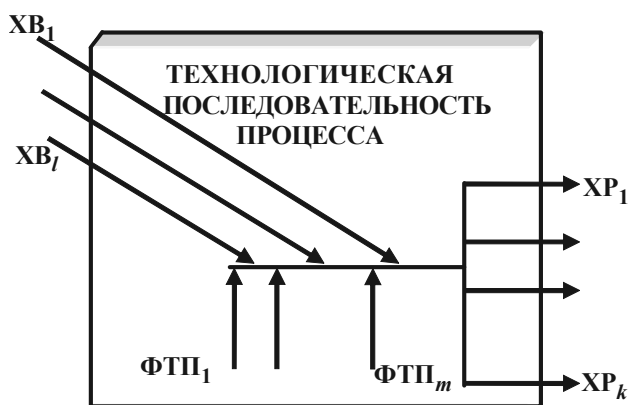


Рис. 3

рактеристики результата определяются только на основании требований потребителя этого процесса.

При выполнении ТП существуют факторы (ФТП) или условия выполнения отдельных работ (ТП), которые влияют на характеристики результата этой технологической последовательности. К таким факторам в качестве примера можно отнести следующие характеристики качества:

- мотивация персонала;
- число ошибок на этапе;
- уровень компетентности исполнителя;
- своевременность выполнения работы;
- время доступа к базе данных;
- уровень технической оснащенности.

Любая ТП преобразует входные характеристики качества, поступающие от других процессов или из внешней среды:  $XB_1, \dots, XB_l$  (рис. 3). К ним относятся:

- характеристики исходной информации с точки зрения ее полноты и наличия ошибок;
- характеристики входных материалов;
- своевременность предыдущих действий и т. п.

Изменение характеристик результата ХР от наблюдения к наблюдению на выходе данной ТП обусловлено как изменением ФТП, так и изменением ХВ во времени.

Таким образом, под планированием качества понимается предварительное изучение процессов с точки зрения взаимодействия его внутренних и результирующих характеристик качества, что позволит оперативно вмешаться в процесс с помощью предупреждающих действий.

● *Этап мониторинга, анализа и управления процессами на основе выделенных ключевых характеристик качества.* Все выделенные на предыдущем этапе метода НМП ключевые характеристики качества процесса подлежат особому вниманию и слежению, их заносят в план управления. Поэтому на этапе планирования качества процессов должен быть разработан план управления в соответствии с методом APQP (Advanced Product Quality Planning) [6]. В практической деятельности организаций план управления – это документ, который в концентрированном виде отражает предусмотренный процесс слежения за ключевыми характеристиками и варианты действия при отклонении от целей. Адекватный план управления невозможен без глубокого понимания влияния ключевых характеристик качества процесса.

Кроме ключевых характеристик качества процесса план управления содержит следующую информацию:

- метод измерения конкретной характеристики качества, объем и частоту выборки;
- метод управления (каким образом будет обеспечиваться контроль и управление процессом для достижения его стабильности и/или предсказуемости (возможна ссылка на конкретные контрольные карты для статистического управления процессом));
- план реагирования (указания о том, кому и какие действия необходимо предпринять при отклонении хода процесса от установленного в плане управления).

Для плана управления выбираются такие методы анализа, которые «дают сигналы» о выходе подконтрольных характеристик качества из предсказуемого состояния. Именно план управления обобщает знания о процессе, особенно в части ключевых характеристик качества, и позволяет осуществлять управление процессом с помощью обратных связей. Поэтому необходимо разработать план управления с использованием всей доступной информации. Для этого команда, разрабатывающая план управления, должна с помощью методов менеджмента качества, таких как QFD, FMEA, добиться лучшего понимания составляющих процесса, включая:

- методы анализа «голоса потребителя»;
- знания команды о процессе;
- метод анализа рисков;
- методы определения ключевых характеристик;
- опыт работы с аналогичными процессами.

Использование указанных методов, включая разработку плана управления, является достаточно трудоемким, что отмечается в ряде публикаций [7]–[9]. Поэтому предлагается адаптировать эти методы для малых и средних организаций, которые, как правило, не располагают большими ресурсами для внедрения сложных методов менеджмента.

Преимущества разработки и внедрения планов управления включают в себя следующее:

- качество: применение планов управления повышает качество процесса и, как следствие, уровень компетентности персонала процесса. Эта структурированная методология позволяет дать исчерпывающую оценку качества процесса;

- удовлетворение потребителя: планы управления фокусируют ресурсы на тех шагах процесса, которые являются ключевыми для потребителя. Правильное распределение ресурсов по этим главным позициям помогает снизить затраты без ущерба для качества;

- информация: план управления, как «живой» документ, определяет и фиксирует изменения совокупности характеристик качества процесса, а также методов их измерения и управления.

- *Этап переопределения и стандартизации требований.* После того как выявлены все ключевые характеристики качества процесса, установлены методы измерения и анализа, а также план реагирования и достигнута стабильность процесса, требуется зафиксировать полученный опыт в виде регламентов процесса.

Однако на этапе анализа может, например, выясниться, что с момента определения характеристик качества изменились условия внешней среды, и в плане управления отсутствуют элементы плана реагирования в новых условиях. В этом случае в сложившейся практике менеджмента используют различные интерпретации цикла PDCA (Global 8D, 6  $\sigma$  и т. п.) для поиска новых влияющих факторов, которые впоследствии становятся новыми характеристиками качества процесса.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. На базе производственной модели, используемой в рамках стандарта производителей автокомпонентов ИСО/ТУ 16949 [4] и ссылочных руководств к этому стандарту (FMEA, SPC, APQP), а также методологии QFD, разработан комплексный *метод непрерывного менеджмента процессов*, предназначенный для внедрения стратегии предупреждающих действий в процессах различного назначения (производство, обслуживание, образование, муниципальное управление и др.) для малых и средних организаций.

2. В рамках метода НМП разработаны следующие методики:

- *методика формирования операциональных определений характеристик качества*, базирующаяся на принципах Э. Деминга и требованиях стандарта ИСО 9001 [10], для преобразования требований внешних и внутренних потребителей процесса в характеристики качества, методы их измерения и анализа;

- *методика определения ключевых характеристик качества процессов*, образующих в соответствии с моделью стандарта ИСО/ТУ 16949 совокупность характеристик «голоса процесса» и используемых для управления процессом с помощью предупреждающих действий.

3. Для реализации этапа мониторинга, анализа и управления процессами на основе выделенных ключевых характеристик качества требуется разработка методики формирования плана управления процессами различного назначения (производство, обслуживание, образование, муниципальное управление и др.) для малых и средних организаций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нив Генри. Организация как система. Принципы построения устойчивого бизнеса Эдвардса Деминга /Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009.
2. Менеджмент процессов /Под ред. Й. Беккера, Л. Вилкова, В. Таратухина и др.; Пер. с нем. М.: Эксмо, 2007.
3. ГОСТ Р ИСО 9000–2008. Система менеджмента качества. Требования. М.: Изд-во стандартов, 2008.

4. ИСО/ТУ 16949:2009. Системы менеджмента качества. Частные требования по применению стандарта ИСО 9001:2008 для производства автомобилей и запчастей к ним. М.: Изд-во стандартов, 2009.
5. Статистическое управление процессами. SPC. Ссылочное руководство/Пер. с англ. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007.
6. Перспективное планирование качества продукции и план управления. APQP. Ссылочное руководство/Пер. с англ. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007.
7. Исаев С. В. Такой FMEA нам не нужен! // Методы менеджмента качества: Ежемес. науч.-техн. журн. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. № 3. С. 15–17.
8. Розно М. И. От «голоса потребителя» до «производства без проблем» // Методы менеджмента качества: Ежемес. науч.-техн. журн. М.: РИА «Стандарты и качество», 2006. № 1–3. С. 13–19.
9. Адлер Ю. П. Качество и рынок, или Как организация настраивается на обеспечение требований потребителей // Поставщик и потребитель. М.: РИА «Стандарты и качество», 2000.
10. ГОСТ Р ИСО 9001–2008. Система менеджмента качества. Требования. М.: Изд-во стандартов, 2008.

*E. A. Ryabinina, V. V. Yashenko*

#### THE METHOD OF CONTINUAL PROCESSES MANAGEMENT

*This article covers the method of continual processes which simplify implementation of preventive action strategy in small companies through adaptation quality management methods for identification of key quality characteristics and control plan designing.*

**Process management, key quality characteristics, preventive action, control plan**

УДК 336

*О. Ю. Малова, Н. В. Лашманова*

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫМИ РИСКАМИ В КОММЕРЧЕСКИХ БАНКАХ**

*Представлена система управления интегрированными рисками и ее значение в деятельности коммерческих банков. Система представляет собой механизм, состоящий из четырех этапов: качественный анализ; количественный анализ; минимизация риска и контроль.*

**Система управления, интегрированный риск, коммерческий банк, идентификация риска**

Внедрение системы управления рисками – это комплексный подход к решению проблемы контроля над рисками, возникающими в ходе деятельности любого коммерческого банка. Система управления рисками является одной из важнейших составляющих общего процесса управления коммерческим банком. Методология риск-менеджмента предусматривает поэтапное рассмотрение управления рисками. Необходимо отметить, что главным принципом осуществления управления рисками является взаимосвязь этапов общего процесса, где каждый из этапов неразрывно связан с остальными как функционально, так и организационно. Следуя теории риск-менеджмента, управление рисками в коммерческих банках представляется как процесс, последовательно проходящий следующие этапы: идентификацию рисков, измерение рисков с оценкой их последствий, принятие решений об управляющем воздействии на риски, контроль за выполнением мероприятий по уменьшению рисков, анализ эффективности реализованных мероприятий [1]. При организации системы управления рисками необходимо помнить, что посредством ее банк может контролировать риски на всех уровнях своего жизненного цикла. Как известно, на каждом этапе жизненного цикла банка возникает множество рисков, которые характерны именно для данного этапа развития [2].

При этом деятельность любого коммерческого банка характеризуется наличием разных рисков, так как банк в процессе работы реализует множество операций (проектов), которые содержат

в себе несколько видов рисков. Поэтому целесообразно учитывать их взаимное влияние. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения интегрированного подхода к управлению рисками, т. е. целесообразно организовывать систему управления интегрированно, т. е. акцентировать внимание на их совокупном воздействии на деятельность банка. Так как известно, что интегрированный риск – это комплексный показатель уровня опасности процесса, выраженный в едином стоимостном эквиваленте и объединяющий (интегрирующий) в себе все риски возможных ущербов при реализации данного процесса [3]. Поэтому управление интегрированными рисками, должно учитывать влияние основных рискообразующих факторов, что в итоге обеспечит более эффективное управление деятельностью коммерческого банка.

На рисунке приведена система управления интегрированными рисками, состоящая из четырех этапов: качественный анализ риска; количественный анализ риска; минимизация риска и контроль.

Как видно из рисунка, на первом этапе проводится идентификация рисков, т. е. определяются наиболее характерные риски для процессов (операций), которые осуществляет коммерческий банк. После этого необходимо классифицировать риски, например, можно классифицировать по признаку «вид операции или существенные и несущественные», затем необходимо определить рискообразующие факторы выявленных рисков.

На втором этапе процесса управления оцениваются выявленные рискообразующие факторы. Данную оценку целесообразно проводить, используя балльную систему. Оценив влияние рискообразующих факторов, можно определить вероятность наступления рисков, входящих в структуру интегрированного риска. Затем оценивается уровень интегрированного риска с помощью прогнозной модели, в основе которой лежит корреляционный и регрессионный анализ и использование компьютерной аналитической системы «Бизнес-прогноз».

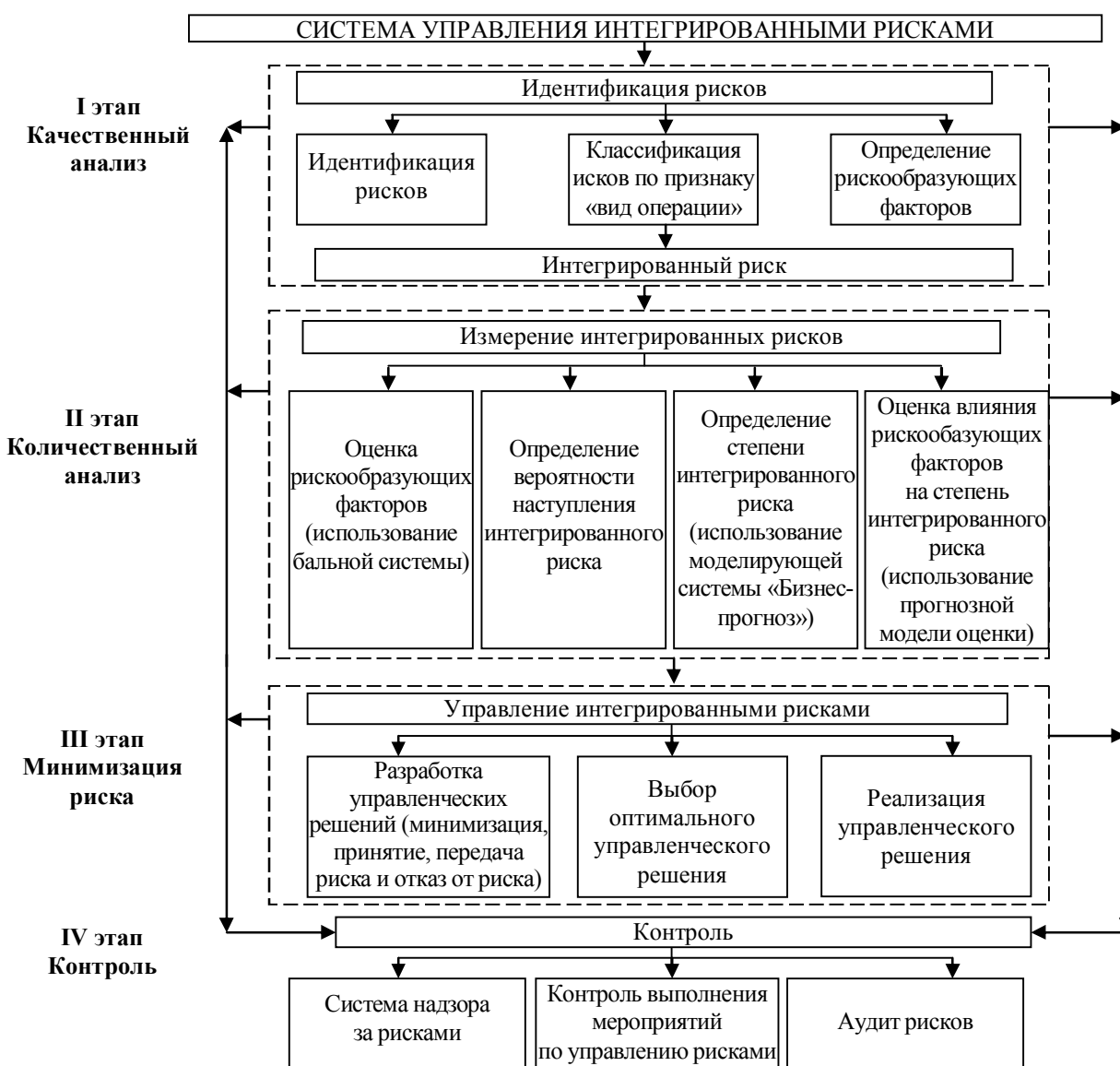
С помощью модели оценивается влияние рискообразующих факторов на степень интегрированного риска. С её помощью можно проанализировать, какие факторы оказывают наиболее сильное влияние на уровень интегрированного риска, и уделить им особое внимание при управлении рисками, тем самым застраховав банк от будущих потерь.

На третьем этапе разрабатываются, выбираются и реализуются управленческие решения по оптимизации интегрированного риска. Такими решениями могут быть: минимизация, передача, принятие риска, отказ от риска, лимитирование, самострахование и хеджирование.

Последний этап «Контроль» позволяет идентифицировать и контролировать выполнение мероприятий по управлению рисками. Цели контроля в предложенной системе управления рисками следующие:

- выявить, эффективно ли реагирование или необходимы изменения;
- изменились ли риски по сравнению с предыдущими значениями или нет;
- выявить наступления рисков;
- определить необходимые меры;
- выявить, было ли запланированным воздействие рисков или явилось случайным результатом.

В то же время контроль может повлечь за собой и выбор альтернативных стратегий управления рисками.



Таким образом, применение представленной системы управления интегрированными рисками позволит учитывать и по необходимости изменять (уменьшать) воздействие рискообразующих факторов, что в итоге обеспечит более эффективное управление деятельностью всего банка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбин Е. В. Риск-менеджмент в банках и банковских группах: проблемы и тенденции // Банковское дело. 2009. № 9. С. 67–71.
2. Ивашовская И. В., Янгель Д. О. Жизненный цикл организации и агрегированный показатель роста // Корпоративные финансы: Электрон. журн. 2007. № 4. С. 97–110.
3. Костиков И. В., Михайлов М. К. Грани банковских рисков // Банковское дело. 2009. № 1. С. 71–73.

*O. Y. Malova, N. V. Lashmanova*

### MANAGEMENT SYSTEM of the integrated risks in commercial banks

*The management system of integrated risk and its value in commercial banks. This system is a mechanism consisting of four phases: a qualitative analysis, quantitative analysis, risk minimization and control.*

**Management system, integrated risk, commercial bank, the identification of risk**



УДК 60 : 168. 53

Е. Е. Елькина

### ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ЗНАНИЯ И ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

*Представлен философский анализ развития современной инженерной рациональности в рамках становления инженероведения. Ее отличительными чертами являются: интеграция в сфере фундаментальных и инженерно-технологических наук, междисциплинарность, информатизация инженерного знания, расширение сферы социального проектирования и проблемно-ориентированных инженерных исследований.*

**Инженероведение, инженерная рациональность, фундаментально-технологическая наука, интеграция, междисциплинарность, социальное проектирование, проблемно-ориентированные исследования, инновационные технологии**

Современная инженерная рациональность характеризуется расширением своих границ. Неклассическая и постнеклассическая наука, являясь генератором инженерной рациональности, существенно изменила содержание и формы инженерного знания, представляющего связующее звено высокотехнологичной науки и наукоемкого производства. Современное инженерное знание рационально, объемно, многофункционально и междисциплинарно. Чрезмерное расширение области инженерного знания и повышение его статуса обусловлено общими тенденциями инновационного развития техногенной цивилизации, что требует системного анализа его современного состояния с учетом будущих задач преобразования природно-космической, технической и социальной среды, выявления механизмов интеграции его различных форм.

Среди гносеологических проблем, связанных с исследованием тенденций развития современного инженерного знания и его структуры, в науковедческой, техноведческой и философской литературе акцентируется внимание на следующих вопросах: 1) интегративных процессах в сфере фундаментальных и инженерно-технологических наук; 2) проблемно-ориентированной направленности инженерного знания и инженерных наук; 3) социопроективной направленности инженерного знания и инженерных наук; 4) междисциплинарности знания об инженерной реальности; 5) информатизации инженерного знания. Анализ выделенных проблем характеризует в целом современный этап развития инженерной рациональности.

Современное инженерование представляет сложнодифференцированную динамическую структуру, включающую различные виды и формы инженерного знания, фундаментальные и прикладные науки инженерного профиля. Выделяют два типа фундаментальных исследований: поисковые и целевые. Поисковые исследования не носят строгой регламентации цели, направления и методов исследования. Целенаправленные фундаментальные инженерные исследования носят запланированный характер в определении направления и цели исследования, использовании исследовательских процедур и методов, в получении результатов, осуществляются в специализированных научных группах (лабораториях, институтах). Критерии отличия фундаментальных и прикладных инженерных наук состоят в специфике целей, предмета, законов, продукта исследования, в соотношении старого и нового фундаментального знания в структуре теории. Фундаментальные исследования: а) нацелены на изучение новых процессов и явлений, открытие новых законов; б) носят теоретический, абстрактный характер; в) их конечные результаты (теория, закон, открытие) не обязательно предназначены для практического воплощения. Прикладные инженерные исследования, напротив: а) связаны с практическим использованием результатов фундаментальных наук; б) их конечным продуктом являются технические объекты и технологии. С точки зрения общих функций и поисковые, и прикладные инженерные исследования выполняют объяснительную и прогностическую функции, полученное научное знание становится руководством для преобразования природной и социальной среды на основе современных технологий. Отличительным критерием прикладных инженерных и фундаментальных наук является характер законов: первые описывают законы функционирования технических объектов, тогда как вторые выявляют внутренний механизм происходящих при этом процессов. Фундаментальные исследования отличаются от прикладных большей точностью предсказания, глубиной объяснения и более высокой степенью проникновения в сущность явлений, более сильными абстракциями и идеализацией исследования, широтой применения законов и теорий.

Взаимосвязь между фундаментальными и прикладными инженерными исследованиями состоит в том, что познание законов объективного мира является основанием применения инженерной науки на практике, обеспечивая достижение научно-технического развития человечества. Исследования прикладного характера, в свою очередь, способствуют выдвижению фундаментальных проблем и нередко приводят к фундаментальным открытиям. В этой связи, как отмечает Г. И. Рузавин, более правильно соотносить фундаментальные и прикладные исследования в рамках одной дисциплинарной области, а не противопоставлять фундаментальные и прикладные науки [1, с. 41].

Стоит отметить, что степень теоретичности той или иной науки в процессе развития научно-технического знания подвержена изменению: фундаментальные законы, исследующие сущность явлений, способны становиться феноменологическими по мере углубления знания. Диалектические принципы анализа данной проблемы требуют, с одной стороны, установления относительного характера между фундаментальными и прикладными инженерными науками, а с другой – рассмотрения критериев различия в более широком контексте системы знания об инженерной реальности. Таким образом, вследствие вышеуказанных тенденций прагматической направленности современной науки между фундаментальными, прикладными и поисковыми инженерными исследованиями нет жестких разграничений, а наблюдается многообразие взаимосвязей.

В процессе расширения областей фундаментальных наук из них выделяются разделы и дисциплины, связанные с прикладным знанием (техническая физика, прикладная химия, техническая кибернетика и др.). В свою очередь, высокие достижения прикладных наук могут сопровождаться зарождением новых разделов фундаментальных инженерных наук (космическая техника, атомная энергетика, управление телекоммуникациями, нанотехнологии и др.).

В целом, как полагают В. Г. Горохов, Ж. И. Алферов и др., разделение современных наук на фундаментальные и прикладные – достаточно искусственное. Многие разделы прикладной механики, радиоэлектроники, технической информатики не имеют непосредственного отношения к инженерной практике в силу того, что они оперируют идеальными техническими объектами и теоретическими схемами. Неклассический период развития естественных, инженерно-технических и социально-гуманитарных наук характеризуется размыванием границ фундаментального и прикладного знания, что вызвано рядом причин: а) проблемной направленностью социотехнического проектирования; б) становлением технологических наук информационно-кибернетического цикла; в) изменением уровня сложности проектируемых объектов, проектирование которых опирается на комплекс научных дисциплин разного уровня теоретичности. Исходя из указанных факторов, провести грань между фундаментальными и прикладными инженерными исследованиями подчас просто невозможно.

Основные подходы к рассмотрению дискутируемой проблемы о соотношении фундаментальных и прикладных наук обсуждаются в статьях А. Л. Никифорова и В. П. Котенко. Их суть сводится к следующим положениям: 1) наука до второй половины XX в. развивалась преимущественно как фундаментальная. Современная наука в большей степени приобретает прикладной характер; 2) определяющей установкой науки становится не получение истины, а прагматическая полезность получаемого знания. Не знания о мире, а знания о деятельности становятся определяющими во всех областях науки, прежде всего в естествознании; 3) тенденция расширения прикладного инженерного знания не означает его приоритетного значения; 4) диалектическая взаимосвязь фундаментальной и прикладной науки носит конкретно-исторический характер (в классической, неклассической, постнеклассической науке) и сохранится и в будущем; 5) в анализе взаимосвязи фундаментальных и прикладных инженерных наук следует учитывать предметную и уровневую структуру научного знания, его видов и форм; целевую ориентацию, особенности функционирования; учитывать социально-экономический статус науки и значимость в рамках определенной культуры [2, с. 35–36]. Ряд исследователей считает нецелесообразным противопоставление фундаментальных и прикладных инженерных наук в современных комплексных научно-технических дисциплинах, поскольку получение новых знаний в фундаментальных поисковых исследованиях преследует практическую цель – обоснование создания предметных структур практики. Как отмечает В. П. Котенко, «фундаментализация» прикладных инженерных исследований и ориентация фундаментальной науки на освоение новых областей знания, в которых заинтересована практика, приводит к возникновению научных знаний принципиально нового типа – инновационных исследований, фундаментальных по характеру, но ориентированных на решение конкретных проблем, имеющих общественное и народнохозяйственное значение. Помимо интеграционных процессов в сфере фундаментального и прикладного инженерного знания наблюдается тенденция обособления «чистой», фундаментальной науки, тенденция ее противопоставления при-

кладным инженерным дисциплинам, по отношению к которым она «осознает» себя в качестве их основания, воплощения культурной мотивации научно-познавательной деятельности как таковой [2, с. 41, 46].

Согласно В. М. Московченко, дихотомия «фундаментальные – прикладные науки» должна быть заменена на взаимодополнительное отношение «фундаментальные – технологические науки», выражающее суть интеграционных процессов «большой» науки и инженерных наук. Фундаментальное знание изучает сущность природных и социальных явлений, это знание о «естественном». Технологическое знание – знание об «искусственном» в природе и обществе. Взаимосвязь «естественного» и «искусственного» на основе принципа дополнительности дает основание рассматривать фундаментальное знание с технологических позиций, а технологическое – с фундаментальных [3, с. 18].

Динамика развития современных инженерных наук характеризуется процессами интеграции инженерно-технического и инженерно-технологического знания, в котором преобладающую роль начинают выполнять инженерно-технологические науки и социопроективное знание. В таких традиционных отраслях инженерно-технической деятельности, как градостроительство, машиностроение, транспорт, химико-технологическая промышленность и др., технические и технологические науки носят прикладной характер, в них преобладает эмпирическое знание: опытные данные, описание технических результатов экспериментов, эмпирические закономерности. Прикладной характер инженерного знания в указанных дисциплинах для выполнения своих функций не требует оформления его в строгую логически и математически завершенную теорию. Практическая ориентированность инженерно-технического знания в указанных отраслях проявляется в содержании его понятий, накладывает ограничение на применение формальных способов исследования, выражается в большом количестве «микротеорий», сфера применения которых ограничена.

На развитие современных инженерно-технологических наук оказывает влияние интеграция естественно-научного и гуманитарного знания. В современном научном знании выделяют четыре интеграционных потока: 1) интеграцию фундаментальных наук, систематизирующих знание о закономерностях становления, развития и исчезновения природных и социальных явлений; 2) интеграцию технологических наук, охватывающих совокупность механизмов проектирования природных и социальных явлений; 3) интеграцию футурологических и прогностических исследований естественных и искусственных явлений; 4) интеграцию исторических наук, занимающихся реконструкцией основных этапов становления, развития и исчезновения техники и технологий. Предложенная А. Д. Московченко четырехкоординатная модель (фундаментального – технологического, исторического – футурологического) знания позволяет представить интегральное обозрение настоящего, прошлого и будущего научного знания, в котором инженерно-технологические науки играют роль «общей технологии» [3, с. 38–39].

Современное инженерно-технологическое знание развивается в двух главных направлениях: одно из них связано с исследованием глубинных уровней микро- и наномира и конструированием природных технологий; другое – с глобальным расширением социальных технологий управления производством и обществом в целом. Интегрирующим фактором становления фундаментально-технологического инженерного знания становится углубление

научного исследования в процессы циклизации форм движения материи (от механической – к физико-химической, кибернетической и др.). Процесс углубления предмета фундаментальных исследований сопровождается структурно-функциональным усложнением материальных систем механического, физико-химического и информационно-кибернетического профиля, обладающих синергетическими эффектами. Становление фундаментальных инженерных наук отражает тенденцию к формированию целостного знания об инженерной реальности, в котором выделяются основные направления интеграционных процессов: а) структурно-функциональное направление (становление целостного фундаментального знания о самоорганизующихся материальных системах от механических до информационно-кибернетических); б) генетическое направление (становление целостного фундаментального знания о материальных системах, развитие которых привело к появлению социальной материи (человеческому обществу) [3, с. 85].

Решение современных инженерных задач связано с использованием в проектируемых технике и технологиях знания о структурно-функциональных закономерностях микромира. Опираясь на идеи А. И. Вейника о фундаментальной роли термодинамической («астатической», циклической) формы движения материи, объединяющей механическую, физико-химическую и кибернетическую формы движения материи, А. Д. Московченко отмечает: «Самое важное в астате, – то, что она фиксирует круговые процессы в материальных системах, которые в результате долгого эволюционного развития приводят к сложным самоорганизующимся системам – кибернетическим» [3, с. 85].

Результаты фундаментальных исследований свойств микромира вносят коррективы в изобретательское творчество. Изобретатель П. В. Митурин усматривает задачу инженерной мысли в преодолении недостатков существующих технологий, основанных на преобразовании вращательного движения в прямолинейное, чуждое естественной среде и ее ритмам: «Не та техника, которая стремится изменить дикое и никогда не победимое лицо природы, но та будет родной человеку, которая широко использует свободную игру сил ее во всем диапазоне уловимых октав ее колебаний» [3, с. 36].

Циклический характер в развитии технологий проявляется в циклическом характере развития технологического знания и инженерно-технологических наук: «Вещественно-технологическое знание диалектически снимается энерготехнологическим знанием, которое, в свою очередь, снимается инфотехнологическим знанием» [3, с. 107–108]. Становление инженерно-технологических наук информационно-кибернетического цикла отражает интеграционные процессы взаимодействия фундаментальных и прикладных инженерных наук и социально-технологических наук. Автоматическая ступень технологического развития находит свое высшее воплощение в информационных технологиях. Двойственность информационных технологий состоит в том, что наряду с высоким исследовательским потенциалом в любой сфере науки, они имеют и обратную сторону, которая проявляется в технизации знания и выключении человека из технологического процесса.

Информационно-технологические науки рассматриваются некоторыми исследователями (Э. В. Гирусов, А. Д. Московченко, Д. А. Медведев) как преддверие к автотрофным технологиям ноосферной стадии развития человечества. Идеи ноосферного развития человечества получили творческое развитие в философии и научном движении русского кос-

мизма в трудах В. Соловьева, Н. Федорова, П. Флоренского, В. И. Вернадского, К. Э. Циолковского, А. Л. Чижевского. Изучение этого наследия придаст современным инженерно-технологическим наукам глубину мировоззренческих обобщений, касающихся взаимосвязи природы – человека – технологии – космоса.

Задача систематизации инженерного знания с целью управления инженерной деятельностью в рамках иерархически упорядоченной целостности выразилась в системотехническом подходе к анализу инженерных наук, относящемся к 60–70-м гг. XX в. В концепции системотехники акцентируется значение общей технологии как науки о конструировании и роль кибернетических принципов управления системами любой природы. Задача общей технологии заключалась в интеграции знания о совокупности артефактов, совокупности видов человеческой деятельности и устройств по их созданию, совокупности видов человеческой деятельности по их потреблению. Согласно Г. Рополу, системотехнический подход был призван «оказать существенную помощь науке о конструировании для системотехнического формулирования и обоснования конструкторских задач и способствовать дальнейшей гуманизации техники» [4, с. 322]. Однако системотехнический подход не учитывал динамического взаимодействия «технической инженерии» и «социальной инженерии», ограничиваясь систематизацией знания о проектировании и функционировании технических систем. В этом проявились его недостатки. Ограничения системотехнического подхода преодолеваются социотехническим проектированием.

В 80-е гг. XX в. в качестве относительно самостоятельной отрасли знания из инженерного проектирования выделилось социопроктирование. Потребность в систематизации инженерно-технических и инженерно-технологических наук обусловлена задачами рационального преобразования окружающей среды и научно-технической деятельности человека, обретающей космопланетарный характер. В реализации крупных инженерных проектов (планетарного уровня) возрастает роль «социальной инженерии», знания инженерной экологии, экономики и инновационного менеджмента, входящих в качестве взаимопересекающихся элементов в структуру инженероведения.

Значительные изменения произошли в структуре инженерно-технического знания, появились новые виды инженерных наук, которые по способу организации не соответствуют классической триаде «фундаментальные исследования – прикладные исследования – коммерциализация». Социопроективная направленность инженерных исследований обусловлена комплексным характером перемен инженерной рациональности. Изменился образ технических наук, технoзнание обрело междисциплинарный статус исследований. Усилились тенденции практической направленности научных исследований, связанных с проектированием пространства жизнедеятельности деятельностных систем. Под влиянием идей синергетики и глобального эволюционизма изменились мировоззренческие представления о задачах инженерных исследований, отразив ориентацию на целостность восприятия проектируемых систем с учетом их будущих модификаций и изменения среды, в которую они включены. Изменился характер технологического и методологического обеспечения исследований в связи с широким применением компьютерного моделирования и других прогностических методов. Поскольку объектом системного проектирования является деятельностный объект (деятельность, направленная на создание и обеспечение функционирования сложной системы), соци-

альные знания интегрированы в гносеологию и методологию знаний о социопроективной деятельности. В связи с этим изменились требования, предъявляемые к субъекту инженерного познания и деятельности, статус проектировщика-системотехника обрел универсализм, совмещение в одном лице различных видов деятельности и знания (социальных, технических, естественных, математических дисциплин для осуществления проектирования и координации со множеством других специалистов). Возрастает значение эффективных каналов коммуникации, роль социальных технологий управления инновационными проектами. В целом, инновационная деятельность определяет динамику развития социотехнического проектирования и тенденции развития современных инженерных наук.

В социотехническом проектировании наметились следующие тенденции: а) гуманитаризация проектных исследований (направленность на достижение идеалов не только как эффективных проектных решений, но и как проявления культурно-исторического проекта; возрастание значимости экспертных исследований); б) проблемная направленность (ориентация на решение конкретных задач); в) комплексный подход к прогнозированию и оценке вводимых технологий); г) эволюционный характер проектирования (учет последующих стадий развития) [5, с. 147–158].

Несмотря на тенденции гуманитаризации инженерных знаний, необходимо понимать, что расширение социотехнического проектирования в планетарных масштабах способно привести к необратимым изменениям. Эволюция взглядов на возможности социотехнического проектирования привела к осознанию его границ. Как указывает В. С. Степин, с системами такого рода нельзя свободно экспериментировать. В процессе их освоения особую роль начинают играть знания запретов на некоторые стратегии взаимодействия, потенциально содержащие в себе некоторые катастрофические последствия. О пределах социопроективных технологий в познании и прогнозировании предупреждает Ф. Рапп: «Мы не можем конструировать историю или же переделывать себя так, как мы кроим материальные объекты» [4, с. 53]. Человеку необходимо понимать причины динамики технологической, инженерной, рациональности.

Определяющей тенденцией развития инженерной рациональности является междисциплинарность инженерных наук, источник которой в информатизации и «многослойности» современной науки, объектом исследования которой является взаимодействие естественных и искусственных систем различных уровней сложности. При проектировании сложных динамических систем нельзя пренебрегать характером взаимосвязи внешних и внутренних процессов. К системам высоких уровней сложности Г. Н. Поваров относит «превращающиеся, или ультрасложные, системы», а также «парадоксальные, или сверхсистемы» [1, с. 162–163]. Информационно-технологическая революция, представляющая «скачок сложности», привела к перевороту в характере взаимосвязи фундаментальных и прикладных инженерных наук. Ведущим направлением становятся проблемно-ориентированные исследования, построенные по типу дисциплинарно организованной высокотехнологичной науки. В инженерных науках о проектировании сверхсложных систем (космических станций, систем спутниковой теле- и радиосвязи, ускорителей элементарных частиц, систем противоракетной обороны и т. п.) возрастает роль синтеза системных представлений и математических моделей.

При работе со сверхсложными системами ученые сталкиваются с двумя основными проблемами из области теории систем: 1) логического упорядочения понятий; 2) развития математического аппарата, что требует построения новой математической теории. Начало теоретико-множественному преобразованию математики было положено Кантором. Поскольку стохастический аппарат системного исследования не позволяет описывать ультра-сложные, диффузные системы, учеными был сделан вклад в разработку математики диффузных (размытых) величин. Наибольший интерес в данном направлении представляет развитие многоуровневых иерархических моделей с использованием разных формальных средств и разных степеней диффузности на разных уровнях.

Междисциплинарные исследования сверхсложных систем, сочетающих разделы инженерно-технологических и фундаментальных наук, становятся магистральным направлением в силу его эвристической емкости – способности сочетать дискретные и непрерывные, детерминированные и случайные процессы, характеризующие явления жизни, мышления, научно-технического развития. Тенденцию сближения инженерных, естественных, социальных и гуманитарных исследований обнаруживают фундаментально-технологические дисциплины информационно-кибернетического цикла, предметом которых является синтез областей знания (например, физическая семиотика, высказывающая предположение о едином космологическом коде, изначально содержащемся в электромагнитном спектре; социальная информатика и социальная кибернетика).

Динамическому развитию инженерной рациональности способствует широкое применение компьютерного моделирования и других форм компьютерного представления знаний, оптимизирующих поиск как в инженерном проектировании и конструировании, так и в научном автоматизированном эксперименте. В современном инженерном проектно-конструкторском знании широко применяются методы информационного построения моделей. Науки об информационных технологиях рассматриваются как интеграция инженерно-технических и социокультурных дисциплин, формирующая новые эстетические образцы. Анализ исследовательских процедур, применяемых в компьютерном моделировании, стимулирует взаимодействие научных исследований, направленных на анализ стандартных компонентов данной работы и технических разработок по моделированию этих операций с помощью ЭВМ [1, с. 178]. По-видимому, в обозримом будущем рутинная часть исследовательской и конструкторской работы будет автоматизирована, с тем чтобы исследователь сосредоточил свои усилия на осмыслении и постановке задач планирования будущего развития. Б. И. Иванов высказывает прогноз о переходе инженерных наук в середине XXI века в постнеклассический этап развития, который будет характеризовать смену перехода парадигмы технологического развития цивилизации к разумному управлению формированием и развитием инженерной реальности.

Как показывает анализ современных тенденций развития инженерного знания и инженерных наук, инженерные науки вступают в новый этап своего развития. Они втягивают в орбиту деятельности по производству знаний все новые области научного и ненаучного знания. В развитии инженерного знания отражается изменение характера взаимосвязи науки – инженерных технологий – производства, изменение объектной и субъектной структур практики. Трансформируются формы инженерного знания, изменяются представления о характе-

ре взаимосвязи субъекта и объекта инженерного познания. Объектом исследования становится инженерная реальность (планетарное расширение технологических преобразований природы, общества, человека). Субъектом инженерной реальности становится, как правило, коллектив исследователей, представителей различных отраслей фундаментального и прикладного знания.

Междисциплинарные исследования инженерной реальности осуществляются в рамках инженероведения как комплексной дисциплины о закономерностях развития инженерной реальности, различные области которой проходят стадию становления. Сущность современного этапа развития инженерных наук выражается в интеграции фундаментального и прикладного инженерного знания, в переходе от знания о формообразующей деятельности к социопроективному знанию о деятельности по преобразованию фундаментальных свойств материи. Инженероведение в целом обнаруживает тенденцию к целостности и «уплотнению» знания. В этой связи необходимо не просто наведение мостов между естественными, социальными, гуманитарными, технологическими и экологическими науками для достижения целостного знания о мире и способах преобразования инженерной реальности, нужно повышать цивилизационную чувствительность к происходящим переменам, следует понимать причины усиления технологической рациональности.

Глобальный характер современных инженерных преобразований, обретающих космопланетарный размах, требует осмысления проблемы инженерной рациональности на новом уровне. В развитии инженерной рациональности, с одной стороны, проявляются механизмы взаимообусловленности научной и инженерно-технической деятельности. Вследствие этого инженерная рациональность должна учитывать взаимосвязь критериев научной рациональности (согласованность элементов знания) и технической рациональности (эффективность, надежность, оптимальность) на основе принципа дополнительности. Эта взаимосвязь оценивается исследователями неоднозначно: некоторые усматривают в синтезе научной и инженерной рациональности «эффективную техничность», источник антропологического кризиса, техногенных катастроф, политического и военного насилия, обострения экологических проблем как следствие технического рационализма и нравственной безответственности; другие отмечают соразмерность научной и технической рациональности, их взаимодополнительность, в которой сочетаются техническая эффективность и открытость творчеству [6].

С другой стороны, инженерная рациональность как целерациональность является выражением общественных потребностей, определяет цели научного познания и отражает ценностные ориентации в выборе направлений преобразования природы и общества. В таком качестве проблема рациональности требует своего рассмотрения в контексте культуры, формирующей императивы гуманизма, разумности и оптимальности.

Обсуждение проблемы инженерной рациональности чаще всего ограничивается выделением критериев технической рациональности или рассматривается в контексте проблемы социальной ответственности. В рамках деятельностного подхода инженерная рациональность отождествляется с целесообразностью, опирающейся на знания об объективной действительности, дополняемых правилами о системах действий и деятельности. «Оценка того или иного вида рациональности, – отмечает А. И. Ракитов, – должна осуществляться не только с точки зрения ценностей и целей, для достижения которых созданы были соответст-

вующие наборы правил, эталонов и норм, но и с точки зрения их адекватности объективным закономерностям природы и социально-экономического развития» [7, с. 70]. Особенностью постнеклассической инженерной рациональности становится отождествление понятия объективности знания с его конструируемостью, коллективный характер конструируемого знания об инженерной реальности.

В связи с возрастанием роли инженерно-технологических наук в преобразовательной деятельности и управлении социальными и природными процессами со второй половины XX в. в литературе разрабатывается понятие технологической рациональности. Согласно В. Д. Комарову, технологическая рациональность характеризует уровень развития общественного разума, экономической эффективности и научной рациональности: она «имеет триединый смысл; законосообразность как соответствие технологического процесса законам природы; практичность как мера соответствия потребностям возвышения общественной практики, экологичность как мера гармоничности социоприродного взаимодействия» [6, с. 48].

В. Н. Порус, анализируя различные подходы к проблеме научной и технической рациональности, предлагает ее рассмотрение с учетом контекста культуры. Такой подход предполагает сопоставление двух способов моделирования рациональности: «открытой рациональности» (критико-рефлексивной) и «закрытой рациональности» (нормативно-критериальной) [8, с. 78–81].

Сущность нормативной инженерной рациональности выражается в критериях технологической рациональности и состоит в переосмыслении характера взаимосвязи «естественное» – «искусственное» с позиций интеграции фундаментальных и инженерно-технологических наук. Предвидение К. Маркса о грядущем объединении «наук о природе» и «наук о человеке» в единую науку, слияние естествознания с обществознанием разделяют некоторые современные исследователи. «Высшая цель научного знания, – отмечает А. Д. Московченко, – связать воедино представление о “естественном” и “искусственном”. Полнота научных представлений образуется в результате диалектического синтеза знания фундаментального и технологического» [3, с. 40]. Эту мысль разделяет В. Д. Комаров, полагая, что инженерно-технологические науки отражают переход от техносферы к ноосферному преобразованию природы, человека и общества и в перспективе определяют статус «общей технологии» как единой современной науки [6, с. 49].

Подход, предложенный В. Н. Порусом, позволяет соотнести модель нормативной инженерной рациональности (сопоставление ее критериев) с критико-рефлексивной моделью рациональности человеческой жизнедеятельности, отражающей социокультурные и экологические ориентации человечества, запечатленные в мудрости древних учений и современном знании. Сопоставление указанных моделей дает представление об инженерной рациональности как специфической форме знания о способах преобразования окружающего мира и человека, которое характеризует переход от создания техносферы к освоению ноосферы. «Закрытая рациональность» невосприимчива к критике собственных принципов. Критическая рефлексия исходных предпосылок инженерной рациональности будет способствовать ее трансформации и переходу на новый, более высокий уровень.

В фокусе данной задачи философы науки, науковеды и ученые считают важным переосмысление этоса постнеклассической науки в направлении гуманизации. Под научным этосом понимается совокупность институциональных ценностей и норм, регулирующих науч-

ную деятельность. Постнеклассическая научная рациональность расширяет поле рефлексии над деятельностью, учитывает соотнесенность знания об объекте со спецификой применяемых средств и с ценностно-целевыми структурами деятельности. Согласно В. С. Степину, постнеклассическая рациональность характеризуется как точка роста новых ценностей и мировоззренческих ориентаций, открывающих новые перспективы для диалога культур. Ее отличительными признаками являются: ориентация на целостное представление об окружающем мире как глобальной экосистеме, особом живом организме; расширение этических регулятивов поиска истины [9].

В свете гуманизации принципов научного этоса инженерная рациональность, являясь средством деятельности (в терминах Аристотеля, выражение действующей причины), не может выступать в качестве целевой причины (определять смысл бытия). Культура, выражающая целостность миропонимания и пронизывающая все сферы жизни, по выражению С. Л. Франка, «есть таинственное единство, в котором прошлое и будущее живут в настоящем. И которое составляет загадочное существо живого организма» [10, с. 149]. Осознание предела инженерной рациональности – в расширении творческих возможностей человека, сочетании рационального и иррационального, в полноте человеческого бытия, в творческой игре его сущностных сил, в преодолении парадигмы мышления, основанной на противопоставлении субъекта и объекта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Философские вопросы технического знания / Под ред. Г. И. Рузавина, А. Д. Урсула. М.: Наука, 1984.
2. Котенко В. П. Наука XXI века: фундаментальная или прикладная? // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов: Междунар. ежегод. / Под ред. С. А. Кугеля. СПб.: Наука, 2009. Вып. XXV. С. 32–47.
3. Московченко А. Д. Проблема интеграции фундаментального и технологического знания / Под ред. В. А. Дмитриенко; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2001.
4. Философия техники в ФРГ / Пер. с нем., англ.; Сост. и предисл. Ц. Г. Арзаканяна, В. Г. Горохова. М.: Прогресс, 1989. С. 315–322.
5. Елькина Е. Е. Парадигмы технической реальности: философский анализ. СПб.: Элмор, 2007.
6. Научная и техническая рациональность: возможности диалога / Санкт-Петерб. филос. общ-во. СПб., 2009.
7. Ракитов А. И. Рациональность и теоретическое познание // Вопр. филос. 1982. № 11. С. 70.
8. Порус В. Н. Рациональность. Наука. Культура. М.: Изд-во ун-та Российской Академии образования, 2002.
9. Степин В. С. Классика, неклассика, постнеклассика: критерии различения // Постнеклассика: философия, наука, культура: Коллективная монография / Отв. ред. Л. П. Киященко, В. С. Степин. СПб.: Изд. Дом «Мир», 2009.
10. Гайденок П. П. Научная рациональность и философский разум. М.: Прогресс-Традиция, 2003.

*E. E. El'kina*

### *THE PHILOSOFICAL ANALYSIS OF MODERN DEVELOPMENT TENDENCIES OF ENGINEERING KNOWLEDGE AND TECHNOLOGICAL SCIENCE*

*The philosophical analysis of modern engineering rationality development is given in the framework of engineering science. Its characteristic features are: integration of engineering knowledge in the sphere of fundamental and engineering-technological science, multi-discipline, informatization of engineering knowledge, spreading of social-projecting and problem engineering investigations sphere.*

**Engineering science, engineering rationality, fundamental-technological science, integrity, multi-discipline, social-projecting, problem research, innovation technologies**



УДК 883.250; 534.883.083

**В. А. Филин, К. Е. Аббакумов**

## **СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЙНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВОДНОГО ЗВУКОВОГО КАНАЛА**

*Посвящена исследованию методологии изучения процессов, объединенных в гидроакустике под понятием подводного звукового канала на основе общепринятых подходов и классификации в науке объектов, относящихся к открытиям, а также формулировке выводов, следующих из рекомендуемых определений.*

**Закон, закономерность, определение, понятие, свойство, термин, явление**

Термином «звуковой канал» в гидроакустике, являющейся одним из многочисленных разделов океанологии (океанографии), зафиксировано явление сверхдальнего распространения звука в океане как открытие, экспериментально установленное в конце первой половины XX в. практически одновременно зарубежными и советскими исследователями в среде, существующей под названием «морская вода». Впервые это словосочетание в гидроакустике появилось в статье М. Ивинга и Д. Ворцеля «Сверхдальнее распространение звука». Эта статья в переводе, сделанном с английского И. Л. Ивановым под редакцией Л. М. Бреховских, содержится в работе [1]. В связи с этим в настоящей статье нет необходимости подробно излагать содержание работы М. Ивинга и Д. Ворцеля. Остановимся только на том факте, что строго теоретического обоснования определения понятия, названного введенным авторами статьи словосочетанием «звуковой канал» (ЗК), как отмечает редактор ее перевода Л. М. Бреховских, в статье не содержится. Он констатирует, что «все приводимые авторами статьи числа относятся к конкретным условиям опыта и не могут переноситься на другие случаи». Для этого необходимо было установить сущность данного открытия и разработать теорию, его объясняющую не только в частном (конкретном), а и в общем случае, что и было сделано Л. М. Бреховских [2]. В работе [2] была предложена замена термина «звуковой канал», введенного авторами статьи [1], на новый термин «подводный звуковой канал» (ПЗК). После чего Бреховских и другими отечественными учеными были сформулированы его определения. Проанализируем определения ПЗК с позиций общепризнанных в науке понятий и классификации объектов, относящихся к открытиям. Согласно этой классификации [3] термин «открытие» в науке объединяет ряд частных понятий, включающих в себя объекты:

- явление;
- свойство;
- закономерность;
- закон;
- предмет природы или общества.

Л. М. Бреховских, установивший сущность этого открытия на основе аналогии с известным фактом возникновения явлений «шепчущих галерей» и обнаруженным Релеем, определил ПЗК как слой морской воды или же всю ее толщу от поверхности моря до дна с характерным профилем скорости звука с одним или с большим числом минимумов скорости звука, горизонты которых названы осями подводного звукового канала (ОПЗК) [1], [2].

В. В. Шулейкин определил ПЗК как явление сверхдальнего распространения звука в морской воде [4].

Налицо дуализм, т. е. отсутствие однозначности в определении одного и того же понятия – экспериментально установленного явления сверхдальнего распространения звука в морской воде и названного Л. М. Бреховских термином ПЗК. Рассмотрим причину этого дуализма. Дело в том, что за основу определения, установленного по данным открытия Л. М. Бреховских, был принят объект, который называется в науке термином «свойство», а В. В. Шулейкиным за основу определения был принят объект, который зафиксирован в науке под термином «явление».

Очевидно, что установленное открытие в объективной реальности, названное Л. М. Бреховских термином ПЗК, определено Л. М. Бреховских и В. В. Шулейкиным через свойство и явление различной природы, формируемые существенно различными процессами – гидрологическими и акустическими. Этим и объясняется дуализм (двузначность) в определении ПЗК, который не дает правильного (однозначного) ответа на вопрос «что такое ПЗК?».

По Л. М. Бреховских, ПЗК – это волновод, т. е. вся толща вод океана от поверхности моря до дна с определенными свойствами вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) или же вертикального профиля скорости звука  $C(Z)$  [м/с] [2].

По В. В. Шулейкину, это явление сверхдальнего распространения звука в океане [4].

Первым ученым, который заметил и устранил дуализм в определении ПЗК, был А. Г. Федосеев. В своих работах, посвященных методам расчета дальности действия гидроакустических средств (ДДГАС) в морской воде, исследованию гидролого-акустических характеристик различных районов Мирового океана и других, он назвал ПЗК и дальние зоны акустической освещенности (ДЗАО) новым термином в науке – гидролого-акустическими явлениями (ГАЯ). Таким образом, А. Г. Федосеевым была установлена причинно-следственная связь между различными природными явлениями – гидрологическими и акустическими. А. Г. Федосеев по существу связал в единое целое определения ПЗК Л. М. Бреховских и В. В. Шулейкина, введя новый термин в отечественную гидроакустику в конце 50-х гг. XX в., который широко используется в практике ВМФ РФ и в настоящее время. По своей сущности этот термин является синонимом хорошо известного понятия в науке, зафиксированного термином «закон», под которым понимается объективно существующая существенная устойчивая связь между явлениями или свойствами материального мира [3]. К сожалению, в своих работах, не потерявших своего значения и к настоящему времени, А. Г. Федосеев не дал введенному термину определения, по-видимому, считая, что это и так понятно. В науке часто бывает ситуация, когда то, что по-

нятно одному, непонятно многим. Применительно к гидроакустике отметим, что в ней, как и в любой другой области естествознания и жизни человеческого общества, традиция, основанная на устаревших или ошибочно введенных понятиях, может противостоять здравому смыслу (науке) [5].

Определение ПЗК, по Л. М. Бреховских, характеризует не сущность установленного открытия сверхдальнего распространения звука в океане, а только его причинную сторону, т. е. необходимое, но недостаточное условие возникновения явления или же процесса сверхдальнего распространения звука в океане. Необходимое и достаточное условие возникновения сверхдальнего распространения звука в океане включает в себя и другие факторы, без которых сверхдальнего распространения звука в океане не наблюдается:

- глубину погружения источника звука;
- мощность источника звука.

При глубине погружения источника звука с достаточной мощностью на оси ПЗК или же вблизи нее возникает, по терминологии А. Г. Федосеева, гидролого-акустическое явление ПЗК, которое характеризуется законом сверхдальнего распространения звука в океане, сущность которого (закона природы) в науке установлена и определяется через объективно существующую важную устойчивую связь между явлениями или свойствами объективной реальности (физическими свойствами «морской среды»).

В глубоководных районах океана, в которых скорость звука у дна превышает скорость звука на поверхности моря, возникает гидролого-акустическое явление дальних зон акустической освещенности (ДЗАО) при расположении источника звука на поверхности моря либо вблизи ее.

В районах океана, когда скорость звука у дна меньше скорости звука на поверхности моря, при расположении источника звука вблизи нее, возникает гидролого-акустическое явление антиканального распространения звука [2].

Дуализм в определении ПЗК Л. М. Бреховских и В. В. Шулейкина в дальнейшем был распространен А. Г. Колесниковым и на введенный в гидроакустику А. Г. Федосеевым новый термин – гидролого-акустическое явление. В своих работах [6], [7], содержащих классификацию гидролого-акустических явлений в рамках плоскостной модели морской воды, А. Г. Колесников определяет гидролого-акустическое явление в полном соответствии с определениями ПЗК Л. М. Бреховских и В. В. Шулейкина, то как кривую ВРСЗ, то как особенность (закономерность) распространения звука, искажая тем самым сущность понятия, введенного в гидроакустику А. Г. Федосеевым и названного гидролого-акустическим явлением.

Дуализм в определении гидролого-акустического явления в работах А. Г. Колесникова был замечен и устранен одним из авторов настоящей статьи в работах [5], [6], в которых сформулировано общее и однозначное определение гидролого-акустического явления применительно не только к одномерным, но и к дву- и трехмерным моделям морской воды (иначе, условиям рефракции звука в морской воде). В этих работах под гидролого-акустическим явлением в морской воде понимаются рефракционные особенности (закономерности) распространения звука. Они возникают в определенных условиях регулярной неоднородности морской воды и действии источника звука на определенной глубине. Это определение гидролого-акустического явления в морской воде охватывает все известные гидролого-

акустические явления как в условиях плоскостлой модели морской воды, так и в условиях дву- и трехмерной рефракции звука в океане [7].

Из изложенного следует, что введенный А. Г. Федосеевым в гидроакустику термин (ГАЯ) не только корректирует определения ПЗК, сформулированные Л. М. Бреховских и В. В. Шулейкиным, но и обобщает возможности применения термина (ПЗК) как закона, так как включает в себя не только его определение как объекта, но и раскрывает важные особенности (закономерности) распространения звука в морской воде, обусловленные рефракцией и лежащие в основе эффективного применения ГАС надводных кораблей и подводных лодок в районах океана и стационарных ГАС в районах их установки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распространение звука в океане: Сб. ст. М.: Изд-во иностр. лит., 1951.
2. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
3. Потоцкий В. В. Регистрация научных открытий. М.: Наука, 1985.
4. Шулейкин В. В. Физические исследования океанов и морей. М.: Знание, 1960.
5. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX века до середины XX века. М.: Наука, 1979.
6. Филин В. А. Гидроакустическая характеристика северной части Тихого океана. М.: Воениздат, 1990.
7. Филин В. А. Гидроакустическая энциклопедия. Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. радиотехн. ун-та, 1992.

*V. A. Filin, K. E. Abbakumov*

#### *AN ESSENCE OF THE DETERMINATION OF THE IDEA OF A SUBMARINE SOUND CHANNEL*

*Denote methodology study of studying the processes, united in the acoustics under the notion «undersea sound channel» on the base of generally accepted approaches and categorizations in the science of objects, refer to openings, as well as wording of conclusions, following from advisable determinations.*

**Law, law-governed nature, determination, notion, characteristic, term, phenomena**

## Сведения об авторах

*Аббакумов Константин Евгеньевич*

Зав. кафедрой электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ, д-р. техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 234-37-26.

*Болсунов Константин Николаевич*

Доцент кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-31-12. E-mail: bolsunov\_k@mail.ru.

*Быков Владимир Владиславович*

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 928-87-07. E-mail: vladimir.bykov@bk.ru.

*Герасимов Игорь Владимирович*

Декан ФКТИ, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-14-42. E-mail: IVGerasimov@mail.eltech.ru.

*Гончаров Вадим Дмитриевич*

Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ, д-р техн. наук, доцент.

E-mail: VDGoncharov@rambler.ru.

*Горбачев Феликс Феликсович*

Аспирант кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 955-70-12. E-mail: gorbatshevich@gmail.com.

*Горячев Александр Вадимович*

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 939-40-16. E-mail: avgoryachev@gmail.com.

*Грязнов Артем Юрьевич*

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-35-59. E-mail: ay.gryaznov@yandex.ru.

*Елькина Елена Евгграфовна*

Доцент кафедры философии СПбГЭТУ, канд. филос. наук.

Тел.: +7(921) 893-23-03.

*Зорин Кирилл Михайлович*

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления.

Тел.: +7(921) 311-21-02. E-mail: kirillzozrin@gmail.com

*Кадацкая Мария Станиславовна*

Начальник управления образования ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (3412) 58-28-52. E-mail: kms@istu.ru.

*Калмычков Виталий Анатольевич*

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: vakalmychkov@mail.eltech.ru.

*Канарейкин Алексей Дмитриевич*

Зав. кафедрой физики СПбГЭТУ, канд. ф.-м. наук., доцент.

E-mail: alexkan@euclidconcepts.com.

*Кудрявцев Алексей Сергеевич*

Аспирант кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ.

Тел.: +7(960) 274-21-27. E-mail: alex\_k@mail.ru.

*Лашманова Наталья Викторовна*

Профессор кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 741-81-28, natalasha2007@rambler.ru.

*Малова Ольга Юрьевна*

Аспирант кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 346-24-52. E-mail: malovolga@mail.ru.

*Матвеева Ирина Витальевна*

Старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: ir\_mat@mail.ru.

*Микеров Александр Геннадьевич*

Профессор кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 375-66-75. E-mail: a.mikerv@ieee.org.

*Ндайонгеже Дьедонне*

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

E-mail: ndadieudonne@yahoo.fr.

*Никитин Александр Владимирович*

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

E-mail: avnike@gmail.com.

*Немов Андрей Васильевич*

Ст. науч. сотр. кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(951) 680-48-21.

*Новакова Наталия Евгеньевна*

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 314-2605. E-mail: nnovakova@mail.ru.

*Попечителей Евгений Парфирович*

Профессор кафедры биомедицинской электроники и охраны среды СПбГЭТУ, засл. деятель науки РФ, д-р техн. наук.

Тел.: +7(921) 946-54-62. E-mail: eugenyp@mail.ru.

*Рубцова Елена Александровна*

Студентка кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 998-67-10. E-mail: helenarubtsova@gmail.com.

*Рябинина Екатерина Александровна*

Ассистент кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ, аспирант.

Тел.: (812) 346-29-24. E-mail: EARYabinina@mail.eltech.ru.

*Самсонов Дмитрий Сергеевич*

Магистрант кафедры электротехнологий и преобразовательной техники СПбГЭТУ.

E-mail: dmitry\_samsonov@mail.ru.

*Сидоренко Ирина Геннадьевна*

Инженер кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: irkindv@yandex.ru.

*Таганов Игорь Николаевич*

Профессор, научный консультант Русского Географического общества (Российская Академия наук), д-р физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 301-24-35. E-mail: taganov.igor@mail.ru

*Теплякова Александра Викторовна*

Инженер кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: smaest@mail.ru.

*Шейнман Илья Львович*

Доцент кафедры физики СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: +7(911) 99-88-246. E-mail: isheinman@yandex.ru.

*Шмидт Владимир Константинович*

Профессор кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 590-13-89. E-mail: vks7@mail.ru.

*Филин Валентин Алексеевич*

Ст. науч. сотр. НИЦ РЭВ 24 ЦНИИ МО РФ СПб., д-р. техн. наук.

Тел.: (812) 466-03-56.

*Фискин Евгений Михайлович*

Доцент Иркутского технического университета, канд. техн. наук.

E-mail: fmm1@rambler.ru.

*Яценко Владимир Владимирович*

Доцент кафедры менеджмента и систем качества СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-47-86. E-mail: berater51@list.ru.

## Правила представления рукописей авторами

В редакционный совет журнала «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» необходимо представить:

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
  - рукопись статьи;
  - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
  - рукопись статьи;
  - сведения об авторе(ах);
  - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
  - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
  - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

*Сведения об авторах должны содержать:*

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

### *Правила оформления текста статьи*

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

- текстовый редактор Microsoft Word версии не ниже 97;
- формат бумаги А4;
- параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;
- основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзацным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Arial» 12 pt, интервалы: «перед» 18 pt, «после» 6 pt; межстрочный интервал «Множитель 1.2»); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

*Перечень авторов* разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Arial» 14 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ слева 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

*Название статьи* набирается прописными буквами (шрифт «Arial» 18 pt; выравнивание по левому краю; отступ слева 0.5 см, автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него – 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

*Аннотация* содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).

*Ключевые слова* состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

➤ *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);

➤ *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.

На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку. Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы (напр.: Рис. 1, Табл. 3).

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.

Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

При невозможности представить электронные версии рисунков следует представить только твердые копии, обеспечивающие качественное воспроизведение рисунков после их сканирования (графики – черной тушью на белой бумаге, фотографии – на матовой бумаге размером не менее  $9 \times 12$  см, не более  $21 \times 30$  см).

*Перечень основных тематических направлений журнала:*

- Радиоэлектроника и телекоммуникации.
- Физика твердого тела и электроника.
- Информатика, управление и компьютерные технологии.
- Автоматизация и управление.
- Электротехника.
- Приборостроение и информационные технологии.
- Биотехнические системы в медицине и экологии.
- Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент.
- Гуманитарные науки.
- История науки, образования и техники.
- Современные технологии в образовании.

*Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.*

Технические вопросы можно выяснить по адресу: [Izvestiya-leti@yandex.ru](mailto:Izvestiya-leti@yandex.ru)