

*Труды Владимирского государственного университета*

---

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

Посвящается 50-летию

Владимирского государственного университета

ТРУДЫ  
ВЛАДИМИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 5

Владимир 2008

УДК 378

ББК 74.58

Т78

**Редакционная коллегия:**

В.Н. Ланцов, д-р техн. наук, профессор (гл. редактор)

Члены редколлегии:

Е.А. Новикова, А.А. Галкин, В.Г. Прокошев, А.Г. Самойлов, Ю.В. Баженов,  
Ю.Т. Панов, Б.Г. Ким, С.А. Максимов, В.В. Гуляева, О.В. Богатова,  
А.Ю. Скировский, Е.П. Викулова

В сборник включены статьи по докладам юбилейной научно-технической конференции ученых ВлГУ, которая состоится 6 ноября 2008 года. Представлены лучшие доклады ведущих ученых десяти факультетов университета: информационных технологий, прикладной математики и физики, химии и экологии, экономического, механико-технологического, радиоэлектроники и медицинской техники, архитектурно-строительного, автотранспортного, гуманитарных и социальных наук, психологии и права.

Представляет интерес для специалистов, работающих по всем данным направлениям, может быть использован в работе со студентами.

УДК 378

ББК 74.58

ISBN 978-5-89368-891-7

© Владимирский государственный  
университет, 2008

Содержание:

<i>Ланцов В. Н.</i> Состояние в области методов моделирования нелинейных электронных устройств .....	3	<i>Трифонова Т. А., Мищенко Н. В., Карева М. М.</i> Оценка состояния растительности и почв на основе данных дистанционного зондирования .....	43
<i>Белевич А. В.</i> Опыт модернизации системы управления качеством образования по отдельной образовательной программе....	10	<i>Егоров И. Н.</i> Позиционно – силовое управление робототехническими и мехатронными системами .....	50
<i>Коростелев В. Ф.</i> Исследование механизма формирования структуры отливок в условиях изостатической опрессовки жидкого и кристаллизирующегося металла .....	15	<i>Кобзев А. А.</i> Построение адаптивных систем приводов на основе четвертой формы инвариантности .....	56
<i>Шмелев В. Е., Сбитнев С. А.</i> Пространственно-фазовый метод моделирования электромеханических процессов на примере вентильной электрической машины обращенной конструкции .....	21	<i>Фролов С. М., Гоц А. Н.</i> Моделирование испарения, самовоспламенения и горения струй дизельного топлива.....	60
<i>Полушин П. А., Самойлов С. А., Гиришевич М.В.</i> Аналоговое кодирование в радиотехнических системах передачи информации .....	26	<i>Ким Б. Г.</i> О теории обеспечения работоспособности и исправности парков строительных машин .....	63
<i>Герке М.Н., Кутровская С.В., Кучерик А.О., Прокошев В. Г., Аракелян С.М.</i> Синтез протяженных массивов углеродных наноструктур на поверхности холодной подложки в процессе управляемого осаждения частиц из лазерно-индуцированного плазменного факела .....	32	<i>Ким Б. Г.</i> Научно-исследовательская деятельность на АСФ .....	69
<i>Абрамов Д. В., Аракелян С. М., Герке М. Н., Кучерик А. О., Кутровская С. В., Прокошев В. Г.</i> Формирование субмикронных и наноструктур в поле лазерного излучения на поверхности углеродной мишени .....	34	<i>Захаров П. Н.</i> Методические аспекты корректировки стратегии развития университета .....	70
<i>Панов Ю. Т., Барабанов Н. Н., Кудрявцева З. А., Ермолаева Е. В., Земскова В. Т.</i> Высокотемпературная теплоизоляция на основе синтактных пенопластов .....	37	<i>Марченко Е. М., Разумова М. В.</i> Основы формирования инновационной инфраструктуры Владимирской области .....	74
		<i>Зобков В. А.</i> Отношение к учебной деятельности как характеристика личности учащегося .....	78
		<i>Чалая Л. А.</i> Роль договора в развитии общества и государства: историко-правовой анализ .....	84
		<i>Аринин Е. И.</i> Понятие «светскости» и проблемы современного государственного образования в области религии... ..	88
		<i>Гуляева В. В.</i> Традиции христианской и языческой культур в Суздальском крае .....	94

**В.Н. Ланцов**

## **СОСТОЯНИЕ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

### **1. Введение**

Одной из важнейших тенденций в области электроники является небывалый темп роста рынка интегральных микросхем (ИМС) для средств мобильной и радиосвязи (особенно сотовая связь). При этом разработка всей системы чаще всего реализуется в одной единственной микросхеме. Хотя нелинейная высокочастотная (ВЧ) часть составляет небольшую долю в общей размерности всей системы связи, но она вызывает наибольшие трудности при проектировании и во многом определяет основные параметры всего устройства. Одна из причин этого – недостаточность эффективных и надежных методов анализа ВЧ нелинейных схем в интегральном исполнении при воздействии сложных входных сигналов, которые используются для передачи информации в современных средствах радиосвязи [1]. Следует сразу отметить, что сейчас имеются несколько коммерческих САПР для проектирования связной аппаратуры, но заложенные в них методы либо не эффективны при решении задач большой размерности, либо очень сложны как в понимании их работы, так и в оценке их возможностей и ограничений. В данной работе рассмотрены основные методы анализа ВЧ нелинейных схем, которые были разработаны в последние годы и включаются в программные средства САПР ИМС для систем радиосвязи.

### **2. Возможности и ограничения традиционных методов анализа схем**

Традиционные программы схемотехнического моделирования [2] типа широко из-

вестной программы SPICE поддерживают очень большой набор видов анализа схем в различных режимах (расчет по постоянному току, малосигнальный анализ в частотной области, анализ шумов и искажений, расчет переходных процессов во временной области, Фурье-анализ отклика схемы в установленном режиме и др.). Все они могут быть применены и для расчета типовых ВЧ блоков современных систем связи (усилители, смесители, автогенераторы, управляемые генераторы, схемы фазовой автоматической подстройки частоты и др.). Но при расчете нелинейных ВЧ блоков моделирование с помощью программ схемотехнического анализа часто становится неадекватным или требует чрезмерных вычислительных затрат. По этим причинам очень большой ряд специализированных методов моделирования нелинейных ВЧ блоков был разработан за последние десять лет [3,4]. Эти методы были направлены в первую очередь на решение следующих задач:

- повышение быстродействия моделирования периодических и квазипериодических установившихся состояний схем (рис. 1, а, 1, б);
- повышение точности моделирования гармонических и интермодуляционных искажений в схеме при воздействии многочастотного сигнала;
- моделирование установившихся режимов колебаний автогенераторов (рис. 1, в) и схем фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ);
- моделирование шумов в нелинейных схемах;

- повышение точности моделирования элементов с распределенными параметрами во временной области.

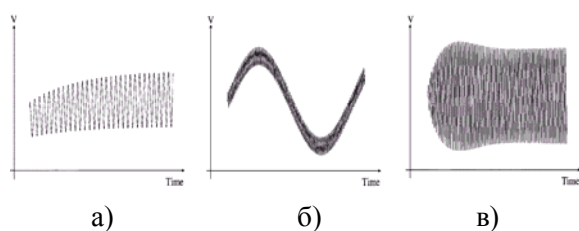


Рис. 1. Результаты моделирования типовых схем: а) отклик усилителя указывает на переходный процесс в начальный период и установившийся режим; б) квазипериодический установившийся режим в смесителе; в) колебания в ВЧ автогенераторе

В традиционных программах схемотехнического моделирования решение вышеперечисленных задач было затруднено. Например, моделирование шумов в программе SPICE основано на линеаризации характеристик, что приводит к невозможности точной оценки в случае таких нелинейных блоков, как смесители и генераторы. Моделирование нелинейных искажений обычно выполняется с помощью Фурье-анализа выходного отклика схемы. Но данный расчет в программе SPICE часто дает некорректный результат. Имеется несколько источников ошибок. Первый связан с расчетом установившегося периодического режима через анализ переходных характеристик схемы во временной области. Этот анализ требует значительных вычислительных затрат, особенно при воздействии нескольких сигналов с сильно различающимися частотами. Для высокодобротных ВЧ схем переходный процесс может длиться тысячи периодов базовой частоты, что приводит к накоплению ошибок интегрирования. Второй источник ошибок - это неточность определения момента окончания переходного режима. Обе эти ошибки приводят к значительным погрешностям расчета гармоник высоких порядков и малой мощности. Третий источник ошибок связан

с алгоритмами преобразования Фурье. В программах анализа расчет выполняется с переменным шагом интегрирования по времени, это приводит к необходимости выполнения интерполяции. Фурье-анализ таких данных может давать значительные погрешности, особенно когда используются интерполяционные полиномы низкого порядка.

В программах типа SPICE обычно вычисляются и интермодуляционные искажения при соответствующем выборе базовой частоты. Моделирование выполняется для двух достаточно близких частот ( $f_1$  и  $f_2$ ). Например, предположим  $f_1=1\text{ГГц}$ ,  $f_2=1.0001\text{ГГц}$ . В этом случае интермодуляция третьего порядка будет рассчитываться на частотах  $2f_1 - f_2 = 999.9\text{ ГГц}$  и  $2f_2 - f_1 = 1.0002\text{ ГГц}$ . Наиболее медленно изменяющаяся гармоника будет на частоте  $f_2 - f_1 = 100\text{ КГц}$ , в то время как другая интересующая нас гармоника будет на значительно большей частоте  $2f_2 - f_1 = 1.0002\text{ ГГц}$ . При использовании стандартного анализа во временной области интервал времени расчета выбирается из условия моделирования хотя бы одного периода самой низкой частоты -  $100\text{ КГц}$ . Временной шаг моделирования определяется самыми быстрыми учитываемыми колебаниями и не должен превосходить половины периода сигнала частоты  $1.0002\text{ ГГц}$ . В этом случае соотношение между максимальной и минимальной частотой получается больше чем  $10\ 000 : 1$ . Это приводит к очень большим вычислительным затратам, так как необходимо промоделировать большое количество периодов наиболее быстрой компоненты. Эта проблема еще больше возрастает при поиске установившегося режима в схемах с высокой добротностью. Дополнительные проблемы возникают при решении задач расчета интермодуляции при малых уровнях входных сигналов, когда из-за ошибок округления на конечной разрядной сетке погрешность расчета может быть очень значительной.

При малых уровнях входных сигналов для нахождения нелинейных искажений и интермодуляции третьего порядка использу-

ют методы на основе аппарата функциональных рядов Вольтера (ФРВ) [2]. Здесь многократно выполняя малосигнальный анализ в частотной области, можно, достаточно быстро оценить различные виды искажений. Точность вычисления искажений существенно зависит от качества моделей нелинейных компонентов. Если в моделях используются функции с резкими изменениями и разрывами, то результаты моделирования с помощью ФРВ будут иметь существенные погрешности. Для преодоления некоторых проблем при моделировании схем с помощью ФРВ были предложены различные модификации [5, 6], но и они имеют множество ограничений.

Еще одна проблема SPICE-подобных программ при моделировании ВЧ нелинейных устройств связана с получением моделей во временной области для распределенных структур. Хотя такие элементы имеют простое и точное представление в частотной области, моделирование во временной области обычно приводит к значительным погрешностям. В некоторых программах используют алгоритмы дискретной свертки, но при моделировании ВЧ высокооборотных схем требуется хранить очень большое число значений функций в предыдущих временных точках, что приводит к значительным затратам памяти и времени моделирования.

### 3. Современные алгоритмы моделирования ВЧ схем

В предыдущем разделе мы отметили, что стандартные методы анализа, используемые в программах схемотехнического проектирования типа SPICE, часто являются неадекватными при моделировании схем ВЧ диапазона. В связи с этим были разработаны и постоянно появляются специальные подходы и алгоритмы для моделирования схем данного класса.

Как правило, моделирование ВЧ схем выполняется с использованием методов или временной, или частотной области. Эти два

класса методов во многом дополняют друг друга, а их комбинация часто приносит много новых преимуществ. Такие гибридные алгоритмы стали особенно популярны в последние годы. В данном разделе мы рассмотрим лишь основные идеи новых методов, математические детали могут быть найдены в работе [1] и других источниках, приведенных в данной статье.

#### Методы анализа во временной области.

Данный класс методов известен уже довольно давно [2, 5]. Часто эти методы называют методами поиска установившегося режима, где различными средствами пытаются уменьшить вычислительные затраты расчета длительного переходного процесса и найти такие начальные условия для решения дифференциальных уравнений (ДУ), при которых переходная составляющая решения равна нулю. Эти условия соответствуют выражению  $v(0) = v(T)$ , где  $v$  – вектор узловых потенциалов, а  $T$  – период установившегося режима. Задача сводится к нахождению такого начального вектора  $v(0)$ , который приведет к периодическому решению. Для схем, работающих при воздействии периодического сигнала, период  $T$  известен. Для схем автогенераторов период неизвестен, и должен быть дополнительно определен, как и вектор начальных условий  $v(0)$ . Одним из наиболее популярных методов для решения описанной выше проблемы является поисковый метод Ньютона. Метод хорошо работает даже при наличии сильных нелинейностей.

Рассмотрим идею метода для случая, когда период  $T$  известен. В методе выполняется стандартный анализ переходного режима на интервале, равном длительности периода. Затем данное решение используется для коррекции начальных условий, необходимых для получения разности  $v(0) - v(T)$  методом Ньютона. Затем выполняется новый анализ переходного режима для получения новых значений  $v(T)$ . Данный процесс про-

должается до тех пор, пока не будет достигнуто равенство  $v(0) = v(T)$ . На рис. 2 приведены формы сигналов  $v(t)$ , полученные на пяти итерациях Ньютона, которые иллюстрируют работу метода на примере частотного умножителя. Так как данный процесс является итерационным, то решение ищется с заданной точностью.

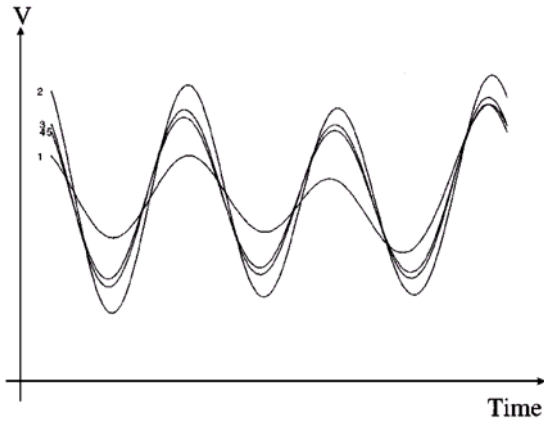


Рис. 2. Представление формы колебаний сигнала на пяти итерациях методом Ньютона при определении установившегося режима

Более высокая точность будет требовать большего количества итераций и, следовательно, больших вычислительных затрат. Важно отметить, что точность, с которой ищется решение, отражается на искажении результатов при последующем преобразовании Фурье.

В данных алгоритмах используются матричные операции с очень высокой их размерностью, что ограничивает класс решаемых задач (в большинстве программ это ограничение составляет около 300 узлов). В работе [7] предложена модификация, которая обходит эти ограничения и позволяет моделировать схемы, содержащие тысячи узлов за счет использования более эффективных методов работы с матрицами. Однако любой метод моделирования во временной области имеет погрешности при численном решении. Методы во временной области практически непригодны для нахождения отклика схем при многочастотном входном воздействии. Лишь если частоты

входного воздействия соизмеримы, то они могут быть применены, но вычислительные затраты и погрешность расчета в этом случае значительно возрастают.

**Метод гармонического баланса.** Данный метод стал наиболее популярным в последние годы при моделировании ВЧ и СВЧ устройств. Метод гармонического баланса (ГБ) считается методом в частотной области и очень надежно работает при анализе периодических и квази-периодических сигналов в установившемся режиме нелинейных схем. Широко используется для моделирования различных классов усилителей, смесителей и генераторов.

Рассмотрим вначале основные принципы анализа нелинейных схем в частотной области. Пусть имеется нелинейный резистор, описываемый вольт-амперной характеристикой  $i = f(v)$ . При воздействии периодического напряжения с частотным спектром  $V(\omega)$  необходимо найти частотный спектр тока  $I(\omega)$  в установившемся режиме. Это отображено в верхней части рис. 3.

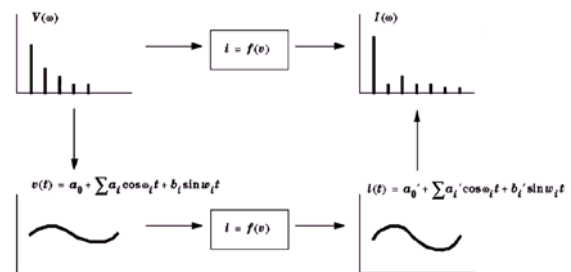


Рис. 3. Нелинейный анализ в частотной области. Используется преобразование во временную область для определения частотного спектра тока на выходе при периодическом напряжении на входе

Так как все модели нелинейных устройств для SPICE подобных программ описываются во временной области, то расчет вольт-амперных характеристик выполняется во временной области. Для этого  $V(\omega)$  вна-

чале преобразуется в сигнал во временной области  $v(t)$  с помощью ряда Фурье:

$$v(t) = A_0 + \sum A_i \cos(\omega_i t) + B_i \sin(\omega_i t),$$

где  $\omega_i = i\omega_0$ ,  $\omega_0$  – основная (базовая) частота входного сигнала,  $i$  – номер учитываемой гармоники. Далее определяется отклик во временной области нелинейного резистора. Полученное колебание тока затем опять преобразуется в частотную область при помощи преобразования Фурье. Данная процедура иллюстрируется рис. 3.

При подаче на схему многочастотного воздействия вышеописанный процесс работает подобным образом за исключением того, что используется уже обобщенный ряд Фурье и большее число учитываемых гармоник. В этом случае  $\omega_i$  будут определяться через произведения частот воздействующих сигналов, а также через суммы и разности данных частот. Коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$  будут характеризовать гармонические и интермодуляционные составляющие [8]. Процедура вычислений в случае двухчастотного входного сигнала иллюстрируется рис. 4.

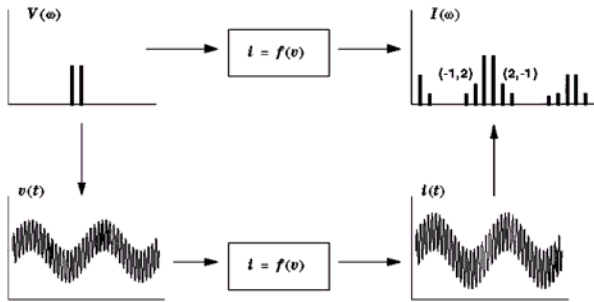


Рис. 4. Нелинейный анализ в частотной области при двухчастотном воздействии

В методе ГБ полная система уравнений решается в частотной области. Существует два подхода к формированию уравнений баланса. Первый подход основан на применении первого закона Кирхгофа для узловых уравнений, когда частотный спектр всех токов в каждом узле «балансируется», т.е. закон Кирхгофа применяется для каждой

спектральной составляющей. В программах схемотехнического моделирования полная модель схемы в виде системы ДУ заменяется системой нелинейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов Фурье. В этом случае операции дифференцирования во временной области будет соответствовать операция алгебраического умножения в частотной области. Размерность уравнений очень высока. Число уравнений определяется соотношением  $[(2M+1) \cdot N]$ , где  $M$  – число учитываемых гармоник (обычно учитываются сотни гармоник);  $N$  – число узлов в схеме. По сравнению с исходными ДУ число уравнений увеличивается в  $(2M+1)$  раз. Уравнения ГБ обычно решаются методом Ньютона.

Во втором подходе для формирования уравнений баланса исходная схема делится на две подсхемы: линейную (содержащую только линейные, пассивные компоненты) и нелинейную. Линейная подсхема решается традиционными методами анализа в частотной области, нелинейная подсхема (чаще просто нелинейные компоненты, например нелинейности транзисторов, диодов) анализируется во временной области. В качестве неизвестных принимаются коэффициенты частотного спектра (коэффициенты ряда Фурье) напряжений на выводах нелинейных элементов. Для преобразования из временной области в частотную и обратно (в нелинейных компонентах) используется прямое и обратное Фурье-преобразование. Размерность уравнений в этом случае определяется соотношением  $[(2M+1)n]$ , где  $n$  – число нелинейных элементов в схеме [5]. В СВЧ схемах число нелинейных элементов обычно невелико, поэтому второй подход там наиболее часто используется. Для ВЧ ИМС, где все элементы в основном нелинейные, преимуществ у второго подхода нет. Поэтому применение метода ГБ в программах анализа приводит к значительным затратам времени и памяти даже для относительно небольших схем. В нескольких последних ра-



ботах [1,3,7] применены эффективные алгоритмы работы с матрицами, что позволило применить метод ГБ к схемам, содержащим сотни транзисторов. Время расчета и требуемые объемы памяти в случае корректно написанного программного обеспечения растут линейно по отношению к размерности схемы и числу учитываемых членов ряда Фурье.

Обобщим особенности метода ГБ:

1) Время моделирования мало зависит от числовых значений частот входного сигнала. Это объясняется тем, что минимальное число отсчетов (дискретных точек) во временной области определяется числом учитываемых членов ряда Фурье, а не исходя из теоремы Котельникова как в случае классического анализа переходного режима. Поэтому метод ГБ довольно легко применяется и для расчета схем, работающих при многочастотном входном воздействии [9, 10].

2) Метод ГБ достаточно быстр и точен, если в установившемся режиме все сигналы могут быть аппроксимированы небольшим числом членов ряда Фурье. Если отклик схемы является сильно нелинейным, то потребуется большее число членов ряда Фурье и более мелкий шаг дискретизации во временной области и как следствие сходимость метода становится менее вероятной.

3) Могут легко моделироваться частотно зависимые распределенные элементы.

4) Зависимости выходных параметров (искажения и/или коэффициент усиления) от амплитуд и/или частот сигналов вычисляются очень быстро, так как решения, получаемые в предыдущей точке, обычно являются хорошими начальными приближениями для расчета в следующей точке.

Моделирование автогенераторов также возможно с помощью метода ГБ. В этом случае в число неизвестных включается дополнительно частота генерации, а фаза одного из коэффициентов Фурье берется равной нулю.

**Гибридные частотно-временные методы.** Гибридные, или смешанные частотно-временные методы особенно полезны для моделирования схем при многочастотном

воздействии. Метод, описанный в [11] позволяет анализировать схемы с сильными нелинейностями, одним из применений метода является анализ искажений в схемах на переключаемых конденсаторах. Алгоритм работы метода заключается в том, что производится интегрирование ДУ во временной области для малого числа изолированных и равномерно распределенных периодов ВЧ составляющей, для которой проявляются сильные нелинейности. В результате определяются отношения между (неизвестными) начальными и конечными точками на этих периодах. Другие отношения для этих точек получаются посредством использования Фурье преобразований для частот, на которых схема ведет себя как квазилинейная. Приравнявая эти два взаимосвязанных результата, получаем систему уравнений относительно искомых частот. Данное решение является квазипериодическим и не требует интегрирования каждого цикла ВЧ составляющей. Таким образом, рассмотренная процедура более эффективна при многочастотном воздействии по сравнению с расчетом во временной области. Метод не требует использования частотной области для сильных сигналов и, таким образом, является более эффективным по сравнению с частотными методами.

Последние публикации [12] представляют решение при многочастотном воздействии как проблему решения ДУ в частных производных на сетке разных временных шкал. Такие уравнения решаются во временной области для сильных нелинейностей и в частотной области - для слабых нелинейностей. К этому же классу следует отнести так называемые методы анализа схем с переменными параметрами. Решение таких задач может быть выполнено с помощью нестационарных ФРВ [13] или двухэтапными методами ГБ [14, 15].

## Литература

1. Kundert K. Simulation methods for RF integrated circuits // Proc. of ICCAD, 1997. - P. 752 – 765.

2. Ланцов, В.Н. Основы автоматизации схемотехнического проектирования / В.Н. Ланцов. – Владимир: ВлГТУ. – 1996. – 87 с.

3. Русаков, С.Г. Моделирование нелинейных радиочастотных схем в системах автоматизации схемотехнического проектирования // Автоматизация проектирования. – 1997. - №2. - С. 2 – 8.

4. Ланцов, В.Н. Метод и алгоритм спектрального анализа входных устройств систем беспроводной связи / В.Н. Ланцов, А.С. Меркутов // Информационные технологии. – 2005. - № 10. – С. 21 – 26.

5. Ильин, В.Н. Методы автоматизированного схемотехнического проектирования нелинейных радиотехнических цепей (обзор) / В.Н. Ильин, В.Н. Ланцов, И.Е. Жигалов // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1985. - № 6. - С. 17 - 25.

6. Ланцов, В.Н. Метод расчета нелинейных радиоэлектронных устройств с использованием ортогональных полиномов / В.Н. Ланцов, И.Е. Жигалов // Радиотехника. – 1985. - № 6.

7. Telichevesky R., Kundert K., White J. Efficient steady-state analysis based on matrix-free Krylov subspace methods //Proc. of IEEE DAC. – 1995. - P. 480 – 484.

8. Ланцов, В.Н. Алгоритм расчета квазипериодических процессов в нелинейных устройствах / В.Н. Ланцов, А.С. Меркутов // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1990. - № 6.

9. Ланцов, В.Н. Моделирование квазипериодических режимов в задачах схемотехнического проектирования нелинейных устройств / В.Н. Ланцов // Микроминиатюризация РЭС и ЭВМ. – М.: МИЭМ. – 1991. - С. 89 - 100.

10. Mayaram K., Lee D.C., Moinian S., etc. Computer-aided circuit analysis tools for RF IC simulation // IEEE Trans. - V.CAS-47. – N 4.- P. 274 – 285.

11. Brachtendorf H., Welsch G., Laur R. A novel time-frequency method for the simulation of steady-state of circuits driven by multi-tone signals //Proc. PISCAS. – 1997.

12. Roychowdhury J. Analyzing circuits with widely-separated time scales using numerical PDE methods // IEEE Trans. - V.CAS. – 1999. - N5. - P. 395 - 401.

13. Ильин, В.Н. Расширение возможностей применения аппарата рядов Вольтерра в программах АСХП / В.Н. Ильин, В.Н. Ланцов, И.Е. Жигалов // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1985. - № 9.- С. 57 - 61.

14. Lantsov V., Dolinin A., Merkutov A. The methods and algorithms of analysis for parametric circuits //Proc. of DMMS, Slovakia. – 1995. - P. 145 – 149.

15. Ланцов, В.Н. Анализ параметрических устройств эффективным итерационным методом / В.Н. Ланцов, А.В. Масленков // Известия вузов. Электроника. – 1999. - №1-2. - С. 97 - 103.

**А.В. Белевич**

### **ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ОТДЕЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ**

Год юбилея ВлГУ стал периодом активной работы в университете по модернизации системы управления качеством образования в свете отечественных и мировых тенденций.

В настоящей статье на примере модернизации системы качества по отдельной образовательной программе обсуждается вопрос

о выборе рациональной методологии и механизмов, способствующих решению проблем в данной области на современном этапе. При его обсуждении исходили из того, что актуальной задачей современного этапа развития является выработка представлений о путях и механизмах совершенствования качества образования как системы. К этому

вопросу подходили на основе обобщения рекомендаций ведущих ученых страны, опыта, накопленного другими вузами РФ, опыта других стран, а также исходя из собственного опыта и видения перспектив развития СМК в ВлГУ.

Наблюдая за ходом развития системы управления качеством образования в ВлГУ в предшествующие годы и в последнее время [1], можно отметить, что работа по совершенствованию системы управления качеством в ВлГУ стала наиболее динамичной, начиная с 2006 года. Именно в этот период в связи с перспективой принятия в РФ образовательного стандарта нового поколения в ВлГУ стали обсуждать вопрос о выработке и внедрении в практику системного подхода к анализу образовательного процесса, его совершенствованию и управлению.

Характерными примерами позитивных изменений в сфере управления качеством и факторами, свидетельствующими о начале нового этапа ее развития в ВлГУ, стали следующие события:

- принятие стратегии ВлГУ ученым советом ВлГУ (2006 г.);
- накопление опыта инновационной деятельности в связи с получением гранта среди университетов (2007 г.);
- создание в ВлГУ Центра управления качеством (2008 г.);
- выполнение (2006-2008 гг.) пилотных проектов, направленных на внедрение идей непрерывного улучшения качества образования;
- накопление опыта проведения самооценки успеваемости методами независимого тестирования;
- организация целенаправленного повышения квалификации организаторов учебного процесса по аспектам качества образования;
- организация обучения преподавателей и сотрудников по теме «Внутренний аудит» и подготовка к его проведению на основе процессного подхода (2008 г.).

Характер данных событий и динамика их развития указывают на сильные стороны системы управления качеством образования в ВлГУ. В последнее время в ВлГУ организована работа по прогнозированию и совершенствованию стратегии, выбору новых целей исходя из новых тенденций в сфере образования с учетом перспектив экономического развития региона и заявленной стратегии ВлГУ.

В последнее время механизмы, отвечающие идее процессного подхода к управлению качеством образования, согласно типовой методике, разработанной ЛЭТИ, стали доминирующими факторами в деятельности центра управления качеством. Их внедрение осуществляют в ВлГУ по пути создания документированных процедур, формирования и обучения аудиторов для проведения внутреннего аудита. Такой подход, основанный на поиске соответствия критериям типовой модели, принесет пользу как с точки зрения формализации процесса управления, так и в итоге с точки зрения активизации работы по устранению несоответствий. По всем названным признакам можно судить, что идея непрерывного улучшения качества образования в ВлГУ стала доминирующей для верхнего контура управления качеством.

Актуальной и пока не решенной задачей согласно терминологии, введенной Э. Демингом применительно к менеджменту качества, является «вовлечение работников». Решение данной задачи потребует поиска новых, ранее не использованных механизмов. В связи с этим остановимся на положительной роли и особенностях выполнения в ВлГУ пилотных проектов, отвечающих идее непрерывного улучшения качества на других контурах управления качеством. Одной из таких задач стало выполнение в ВлГУ начиная с 2006 г. пилотного проекта по созданию экспериментальной площадки для совершенствования системы качества образования по отдельной образовательной программе. Выполнение данного проекта в рамках системы качества лишь по одной отдельно взятой образовательной программе

оказало и продолжает оказывать, несомненно, положительное влияние на принятие решений по совершенствованию системы управления в целом.

Хотя к началу 2006 года в ВлГУ уже была заложена основа системы управления качеством образования и созданы предпосылки для ее дальнейшего развития, многообразии поставленных задач, большинство которых следовало решать впервые, потребовало переосмысления многих уже ранее имеющих представлений о качестве обучения на основе действующего стандарта. К таким задачам следовало отнести задачу формирования представлений о месте и роли университета для региона, выбор модели развития университета. В последнее время в связи с принятием процессного подхода возникли новые задачи перенесения новых идей из области менеджмента управления качеством в сферу управления образовательным процессом. Признание идей TQM и поиск путей развития в соответствии с требованиями стандартов ИСО требовали поновому подойти к вопросам управления с позиций непрерывного улучшения качества.

Для меня и моих коллег по кафедре ТМС последние два года были периодом осмысления идей Болонского процесса, осознания необходимости внедрения новых механизмов управления качеством, связанных с переходом к новой парадигме образования в компетентностном формате, и целенаправленной деятельности, направленной на улучшение качества по выбранным критериям. Эти и другие актуальные вопросы начали обсуждать на кафедре начиная с 2006 года на основе изучения и обобщения опыта работы в данной области ведущих университетов РФ (МИС и С, ЛЭТИ, университетов г.Томска).

Обобщение данных многочисленных симпозиумов по вопросам квалиметрического подхода, внедрения системы ESCTS и других декларированных идей Болонского процесса [2] показало, что только признания

идей Болонского процесса было недостаточно. Следовало начать с осмысления представлений о новых нормах качества, определить пути и механизмы проведения модернизации и начать их практическую реализацию. Ознакомление с методическими материалами по анализу систем качества, данными о рейтинговых системах оценки знаний позволило судить о противоречивом характере имеющихся рекомендаций по выбору механизмов совершенствования систем качества.

Отмечалось также различие критериев, предлагаемых ведущими центрами в области развития системы управления качеством, в вузах г.Томска, МИС и С и ЛЭТИ. Сравнительный анализ рассмотренных подходов и критериев, предложенных данными вузами, позволил заключить, что трудности и нерешенные проблемы были характерны для многих университетов РФ. Например, в 2006 г. важное значение придавали такому критерию уровня систем качества, как количество носителей идей Болонского процесса в коллективе.

Для понимания идей Болонского процесса и выработки подходов к их реализации на первом этапе большое значение имело формирование и расширение круга носителей данных идей. Поэтому с 2006 г. проходило установление связи кафедры ТМС с «Исследовательским центром проблем качества подготовки специалистов».

В этот период одним из первых важных шагов по модернизации системы качества образования в ВлГУ стало выполнение проекта по организации экспериментальной площадки для анализа и совершенствования управления качеством образования по отдельно взятой образовательной программе. Такой эксперимент по приказу ректора был начат в ВлГУ в 2006 г. применительно к образовательной программе для специальности 151001 «Технология машиностроения». Опыт деятельности в рамках данного эксперимента докладывался на кафедре ТМС, тщательно изучался деканатом МТФ и был доложен на заседании методического совета ВлГУ.

В рамках этого проекта с помощью современных методик «Исследовательского центра проблем качества подготовки специалистов» с единых позиций системного подхода [3] были впервые подвергнуты комплексному анализу различные аспекты образовательного процесса с точки зрения соответствия критериям, отражающим современные мировые и отечественные тенденции развития.

Целью работы по созданию экспериментальной площадки в ВлГУ стало проведение комплексного анализа сложившейся системы высшего образования по специальности 105001 «Технология машиностроения» как составной части системы обеспечения качества и управления качеством высшего образования. В ходе выполнения данной работы были решены две задачи;

- ознакомлен профессорско-преподавательский состав ВлГУ, принимающий участие в профессиональной подготовке по выбранной образовательной программе (специальности 105001), с состоянием сложившейся в ВлГУ системы обеспечения и управления качеством высшего образования;
- разработана обоснованная программа модернизации сложившейся системы качества по данной специальности.

В ходе выполнения проекта были поставлены и достигнуты следующие образовательные цели:

- освоена категория «качество» применительно к системе высшего образования по специальности 105001 в целом и к каждому ее компоненту в отдельности;
- приобретены навыки выделения ключевых элементов анализа и факторов, связанных с их качеством и качеством высшего образования в целом;
- сформировано понятие об источниках информации о критериях оценки и анализа, способах описания;
- сформирован опыт коллективного выполнения основных задач по комплексному анализу системы качества по специальности 105001.

Комплексный анализ проводили на основе обработки существующих источников информации, а также специально организованных исследований и измерений.

Общая характеристика системы высшего образования по отдельной образовательной программе включала:

- оценку общих условий для существования, функционирования и развития системы качества высшего образования по ООП;
- оценку управления качеством функционирования;
- оценку управления качеством развития.

В результате были выявлены имеющиеся проблемы, их диагностика, оценка значимости (приоритетности) каждой проблемы и определена последовательность их разрешения. Разработаны основные положения программы модернизации системы качества высшего образования по ООП.

Важной составной частью исследований стало проведение SWOT-анализа по каждому из рассмотренных направлений образовательной деятельности. Например, с целью самооценки было проведено анкетирование, включая анкетирование выпускников, студентов по методике Г.Б. Скок, Н.И. Лыгиной «Преподаватель глазами студента». По результатам самооценки разработаны рекомендации по совершенствованию рабочих программ, введению недостающих компонентов и увеличению списка условий.

Наиболее внимательно был подвергнут анализу образовательный процесс по новым дисциплинам, ответственным за механико-математическую подготовку студентов. В результате методами SWOT-анализа были выявлены нерешенные проблемы по разным аспектам образовательного процесса, разработан план конкретных мероприятий по устранению отмеченных недостатков и модернизации существующей системы управления качеством образования по специальности 151001.

Результатом выполненной работы в 2006 году стали подготовка и защита в МИС и С выпускной индивидуальной работы в форме

аналитического доклада на тему «Система обеспечения качества и управления качеством высшего образования по специальности 151001 «Технология машиностроения» во Владимирском государственном университете: состояние, тенденции, проблемы, перспективы».

Последующие события в 2007 г. в связи с вхождением ВлГУ в число инновационных университетов показали важность выполнения данного проекта, обеспечившего готовность профессорско-преподавательского состава кафедры к учебной, воспитательной, научной и инновационной деятельности в новых условиях.

Например, в 2007 г. были успешно решены намеченные задачи модернизации качества образования по специальности 151001, включая прогнозирование облика будущих специалистов в компетентностном формате, обучение сотрудников, постановку новых дисциплин, планирование, создание и развитие лабораторной базы, оснащение новейшим оборудованием, приборами и установками, соответствующими мировому уровню и отвечающими целям образования. Создание новой учебной и научно-исследовательской базы способствовало приданию инновационного характера проводимых прикладных научных исследований и развитию фундаментальной науки. В результате возросли значимость и качество научно-исследовательской составляющей выпускных квалификационных работ. Это способствовало развитию и укреплению новых отношений с работодателями в новых условиях.

Приведенные данные служат подтверждением правомерности развития рассмотренного подхода к модернизации качества образования, целесообразности его изучения, применения и обобщения. В настоящее время накопленный опыт работы по созда-

нию экспериментальной площадки в ВлГУ используется на кафедре при анализе соответствия достигнутых результатов установленным нормам, при разработке учебно-методических комплексов, составлении реалистичных планов развития.

Опыт изучения образовательного процесса в рамках данного проекта позволил перейти к следующему этапу совершенствования системы управления качеством образования: путем разработки модели выпускника по специальности 151001 (бакалавров и магистров) и формированию новых траекторий их обучения в компетентностном формате.

Суммируя накопленный опыт внедрения системного подхода к анализу функционирования, развития и управления системой качества образования по отдельной образовательной программе, можно рекомендовать изложенный подход для решения вопросов повышения качества образования по другим образовательным программам.

### Литература

1. Белевич, А. В. Морозов В.В. Рациональная методология обеспечения качества высшего профессионального образования на пути к инновационному университету / А.В. Белевич, В.А. Кечин, В.В. Морозов // Известия Международной академии наук высшей школы. – 2007. – № 2 (40) – С.40-48.
2. Байденко, В. И. Болонский процесс: курс лекций / В.И. Байденко. – М.: Логос, 2004. – 208 с.
3. Селезнева, Н. А. Качество высшего образования как объект системного исследования: лекция–докл. / Н.А. Селезнева, 6-е изд. - М.: Исследоват. центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. - 95 с.

В.Ф. Коростелев

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК В УСЛОВИЯХ ИЗОСТАТИЧЕСКОЙ ОПРЕССОВКИ ЖИДКОГО И КРИСТАЛЛИЗИРУЮЩЕГОСЯ МЕТАЛЛА

Современные представления о закономерностях формирования структуры отливок основываются в основном на результатах металлографических исследований. Попытки осуществить рентгеноструктурный анализ расплавов привели к построению некоторых частных гипотез, освещающих взаимодействие на межатомном уровне [1-3], которые однако не дают информации, необходимой для создания систем управления формированием структуры в конкретных технологических процессах.

Целью данного исследования является изучение поведения металла в условиях изостатической опрессовки, когда выявляемая зависимость изменения давления, накладываемого на металл, может быть использована как дополнительный источник информации о тех структурно-фазовых превращениях, которые могут происходить в интервале температур кристаллизации.

Исследования выполнены на модельных отливках  $\text{Ø}80 \times 160 \text{ мм}$  из сплава В95. Рассчитана, спроектирована и изготовлена технологическая оснастка. В качестве оборудования использован пресс с компьютерной системой управления [4].

#### Методика исследований

Выплавку сплавов опытных составов осуществляли в индукционной печи мощностью 50кВт в графитовом тигле под слоем флюса. Вначале расплавляли чушковый алюминий. По ходу плавки температуру металла контролировали хромель-алюмелевой термопарой погружения и прибором КСП-4 с точностью  $\pm 5 \text{ К}$ . После расплавления создавали перегрев 100...200К, последовательно вводили медь, магний в виде сплава МЛ-5, цинк. Сплав перегревали до 850°C, счищали шлак, наводили новый слой флюса. Рафинирующую термовременную обработку расплава проводили в течение 15мин, после

чего шлак отодвигали и под зеркало вводили Ti и Zr, зеркало закрывали флюсом, давали

выдержку 5мин для растворения Ti, Zr, счищали шлак. При температуре 850°C металл переливали в графитовый разливочный тигель, предварительно нагретый до 950°C.

Заливку формы металлом осуществляли через заливочную чашу в течение 8...10 с.

Форму прогревали, наносили на рабочую поверхность пульверизатором слой графитовой краски (аналог SN2000) и доводили до температуры 300°C.

Перед заливкой полость формы вакуумировали.

После заливки металла включали управляющую программу, в соответствии с которой на форму накладывали усилие 300 тс, необходимое для удержания давления, включали первый плунжер, с задержкой 5 с включали второй плунжер.

Конструкция прессы представлена на рис. 1.

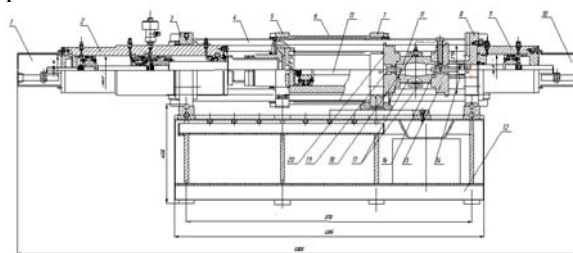


Рис.1. Конструкция прессы: 1 – датчик перемещения штока мультипликатора; 2 – гидроцилиндр силового замыкания; 3, 8 – плиты опорные; 4 – колонна; 5, 7 – плиты подвижного блока; 6 – гильза-стяжка; 9 – гидроцилиндр прессования; 10 – датчик перемещения штока; 11 – башмак опорный; 12 – станина; 13 – гидроцилиндр встроенный; 14 – втулка опорная; 15 – основание неподвижное; 16 – чаша заливочная; 17 – матрица разъемная; 18 – кольцо с выходом к вакуумному насосу; 19 – плунжер прессующий; 20 – основание подвижное

Схема процесса, а также расположение датчиков температуры в стенке формы, пе-

ремещения плунжеров и мультипликатора, давления в гидросистеме пресса приведены на рис. 2.

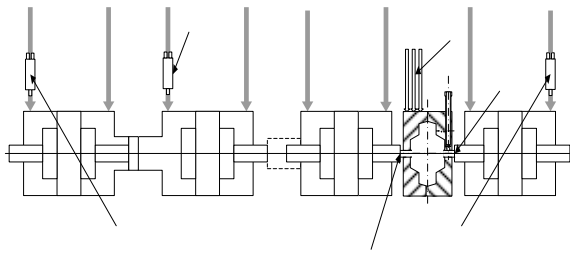


Рис.2. Схема измерений и управления

На осциллограмме (рис.3) в определенном масштабе отражены перемещения прессующих плунжеров кривыми 1 и 2, а линия 3 характеризует изменение давления в гидросистеме пресса.



Рис.3. Циклограмма работы и показания датчиков

По величине этого давления оценивали сопротивление, которое металл оказывает при внедрении в полость отливки прессующих плунжеров.

### Процесс опрессовки

Вопреки представлениям о том, что жидкость не сжимаема, внедрение плунжеров в расплав в начальной стадии носит достаточно интенсивный характер.

16

Можно представить, что после перекрытия заливочного отверстия металл опрессов-

ке не подвергается; тогда в процессе кристаллизации сформируется крупнокристаллическая литейная структура с такими дефектами, как рыхлота, рассеянная и концентрированная усадочная пористость, объемная и внутريدендритная ликвация. Особо низкие физико-механические свойства характерны для объемов, удаленных от поверхности на 20...30 мм и более.

Можно также предположить, что наложение давления может привести к частичной или полной компенсации усадки, которая в первом приближении может быть принята равной трем линейным усадкам.

Значительный интерес представляет развитие процесса компенсации усадки во времени во взаимосвязи с развитием кристаллизации.

Выбор названных выше температурных режимов процесса обусловлен соображениями наложить давление до начала кристаллизации. В первые секунды после заливки, как видно на рис.3, происходит в основном сжатие жидкого металла.

В качестве параметра, характеризующего поведение жидкого металла, предлагается коэффициент относительной сжимаемости как отношение объема запрессованного внутрь отливки металла к первоначальному объему, т.е.

$$\Phi = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\%.$$

График, характеризующий изменение данного параметра в различных условиях опрессовки, приведен на рис.4.

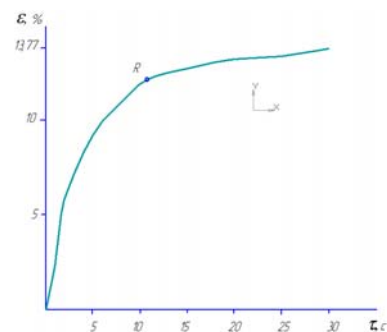


Рис. 4. Изменение степени сжимаемости жидкого металла в процессе наложения давления

На графиках можно отметить явно выраженные точки перегиба R. До этой точки ф



нарастает быстро, справа от этой точки - медленно. Соответственно отмечены и две фазы процесса:

- 1 - опрессовка жидкого металла;
- 2 - опрессовка кристаллизирующегося металла.

В первой фазе давление на жидкий металл невысокое, после точки перегиба оно нарастает до  $\sim 400$  МПа и только при этом давлении возможна дальнейшая опрессовка.

Обращает на себя внимание, что в т. R коэффициент  $\varphi = 11 \dots 12\%$ , что значительно выше объемной усадки; за точкой перегиба прирост  $\varphi = 0,9 \dots 1,0\%$ .

#### Опрессовка с модуляцией давления

В отличие от скорости охлаждения, управлять которой в ходе данного технологического процесса не представляется возможным, давление как фактор внешнего динамического воздействия можно изменять в широких пределах на всех этапах формирования отливки.

На осциллограмме, приведенной на рис. 5, запись процесса осуществлена в режиме частотно-импульсной модуляции с частотой 0,1 Гц, причем время задержки подачи давления в гидросистему составило 1с.

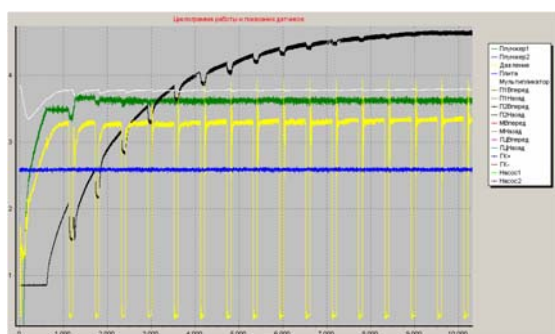


Рис.5. Процесс с частотно-импульсной модуляцией

Видно, что в моменты отключения давления происходит «отскок» плунжеров на некоторое расстояние. При включении да-

вления происходит восстановление графика. По мере нарастания числа импульсов амплиту-

да «отскоков» уменьшается и через 10 ... 15 циклов затухает. Характерно, что восстановление графика происходит за счет того, что после остановки плунжер внедряется в металл с большей скоростью, чем до отключения давления.

Подобный эффект наблюдается также в том случае, когда один плунжер, внедряясь в жидкий металл, встречает сопротивление, скорость его снижается, если в это время включается второй плунжер, то его движение начинается с большей скоростью по сравнению со скоростью первого плунжера.

Когда работают оба плунжера и один из них останавливается, поведение другого практически не изменяется, но при возобновлении подачи давления отключенный до этого плунжер устремляется с большей скоростью, наверстывая отставание в период паузы.

#### Интерпретация на уровне межатомных взаимодействий

Для создания модели управления процессом опрессовки необходимо выявить наиболее общие закономерности, опираясь на такие принципиально значимые впервые представленные здесь определения, как сжимаемость жидкого металла, существенно превышающая объемную усадку, упругость сжатого жидкого металла, а также явления замедления и ускорения опрессовки, связанные, вероятно, с определенными гистерезисными процессами во взаимодействиях между атомами.

Поскольку конечной целью формирования более благоприятной структуры литого металла является достижение более высоких физико-химических и механических свойств, необходимо представить, на чем может быть основан механизм зависимости свойств металла от его опрессовки.

Для описания взаимного расположения атомов в жидкости и в аморфном состоянии

принято использовать функцию радиального распределения атомов (ФРРА)  $N(r)$  и парную корреляционную функцию (ПКФ)  $W(r)$  [5].

ФРРА характеризует число атомов в единице объема слоя, а ПКФ определяет вероятность нахождения атома в элементе объема  $dV$ , удаленном на расстояние  $r$  от центра атома, выбранного за начало координат, так что при полном хаотическом расположении  $W(r)=1$ . Функция ФРРА является осциллирующей, что можно принять как доказательство наличия в расположении атомов ближнего порядка (БП).

Установлено, что уникальные свойства наночастиц с размерами 5...10 нм у Nb, Mo, Ta, Cr объясняются наличием ГЦК и ГП более плотноупакованных структур по сравнению с ОЦК структурой, которую названные металлы имеют в исходном состоянии.

Следовательно, для достижения более высоких свойств необходимо обеспечить, чтобы каждый атом в структуре металла имел как можно больше связей с соседними атомами.

С этой точки зрения технологически реализуемое сближение атомов при опрессовке жидкого металла, с одной стороны, нейтрализует развитие естественных процессов подготовки фазовых превращений [3], с другой – сжимает растворенные газы, обеспечивает более равномерное по сравнению с обычным гравитационным литьем распределение неметаллических включений. Но значительно более существенным является сближение атомов на расстояния, когда проявляется действие упругих сил взаимного отталкивания. Благодаря этому эффекту давление, развиваемое в окрестности пресующего плунжера, распространяется на определенное расстояние, которое и определяет возможности формирования равномерной без существенных различий структуры.

В рассматриваемых условиях расстояние, на которое распространяется давление, составляет

$$a \approx 2d_{\text{п}},$$

где  $d_{\text{п}}$  – диаметр плунжера.

Наложение давления путем запрессовки внутрь отливки из полости специально предусмотренных камер дополнительных объемов металла создает условия для преодоления сопротивления и сближения атомов. Можно предполагать, что при этом захлопываются внутренние межкластерные пространства, или под влиянием давления амплитуда колебаний атомов уменьшается, или изменяется взаимное пространственное расположение атомов, координационное число увеличивается. И если внешние очертания атомов представляют собой шары, то их сближение небеспретельно. Механическое соприкосновение атомов происходит при достижении давления  $\sim 300$  МПа, наложение которого связано с определенными трудностями. И если сегодня в литературе отсутствуют какие-либо данные о поведении расплавов под давлением, то одной из причин сложившегося положения может быть разочарование исследователей в том, что достигнутый при этом результат не был достаточно впечатляющим.

Сближение атомов на расстояние действия достаточно больших сил отталкивания создает ложное представление об окончании процесса. Высокая сжимаемость расплава может быть заложена в основу процесса высокоскоростной изостатической обработки.

В процессе жидкой штамповки можно осуществить опрессовку жидкого металла, но после образования кристаллов под коркой развивается усадка, и действие внешнего давления на кристаллизующийся металл прекращается. Поэтому роль давления в этом процессе сводится больше к формообразованию и в меньшей степени к повышению свойств.

Опрессовка металла во второй фазе процесса

Поведение жидкого металла под давлением в первой фазе может быть представлено моделью плотной неупорядоченной упаковки жестких сфер. Имеются данные моделирования посредством размещения твердых шариков одинакового размера в резиновую камеру и фиксации положения шариков жидким воском с последующим затвердением воска. Коэффициент заполнения составляет  $\eta = 64\%$ . Наблюдается соответствие между расчетной и экспериментальной ФРРА.

Во второй фазе объем запрессовываемого металла изменяется по сложной зависимости

$$\frac{dV}{d\tau} = \psi FY(p, z, s),$$

где  $V = \pi d^2 l$  - объем запрессовываемого плунжером металла при перемещении на расстояние  $l$ ,  $\tau$  - время,  $\psi$  - коэффициент изменения объема при переходе из жидкого состояния в твердое,  $F$  - поверхность фронта кристаллизации,  $Y(p, z, s)$  - функция скорости кристаллизации от давления  $p$ , скорости охлаждения  $z$ , структурных факторов  $s$ .

После сближения атомов как «жестких сфер» в жидком состоянии дальнейшая опрессовка происходит в темпе кристаллизации. Как видно на рис. 4, при включении давления темп движения прессующих плунжеров увеличивается, что указывает на появление внутри отливки дополнительного свободного пространства. Это пространство может быть связано исключительно с качественным изменением состояния металла, т.е. с кристаллизацией.

Давление в этой фазе, вероятно, необходимо не для того, чтобы сблизить атомы на величину усадки, а для преодоления сопротивления нагромождений атомов, которые при этом доходят до фронта кристаллизации и способствуют дополнительной упаковке атомов.

Таким образом, существенным дополнением в представления о кристаллизации, вытекающим из анализа осциллограмм процесса, является пьезоэффект, т.е. уплотнение в момент возникновения кристалла. Возможно, такая кристаллизация может привести к образованию более плотноупакованных атомных структур.

Анализ свойств пьезоструктурированных материалов

Известно, что внутри капли жидкости, согласно Лапласу, действует дополнительное давление

$$\Delta p = \frac{2\sigma_s}{r},$$

где  $r$  - радиус капли,  $\sigma_s$  - поверхностные натяжения.

Установлено, что при измельчении частиц до наноразмеров возможно сжатие кристаллической решетки под влиянием давления Лапласа.

Поэтому накладываемое извне давление значительно большей величины может оказывать влияние на максимальные воздействия на уровне отдельных атомов и их ассоциаций.

Выше при анализе осциллограмм было обращено внимание, что при сближении атомов они могут встать враспор, заклинить и остановить движение, в то время как для компенсации усадки, для протекания химических и фазовых превращений атомам необходимы свобода и подвижность.

Учитывая эти противоречия, трудно представить, что наложение давления приведет к увеличению числа связей между атомами, а следовательно, и к улучшению свойств. Негативные последствия наложения давления могут выразиться в полном разрушении структуры, в аморфизации, в формировании квазикристаллической структуры.

Предварительные исследования показали, что изостатическая обработка расплава поз-

воляет получить слитки достаточно крупных размеров, прочностные и пластические свойства которых не ниже, чем деформированных заготовок тех же размеров как в исходном, так и в термообработанном состоянии, хотя в качестве исходных при выплавке использованы не первичные, а вторичные шихтовые компоненты.

Вправе предположить, что достигнутое повышение свойств связано с пьезоэффектом, с наличием давления на фронте кристаллизации.

Дальнейшее повышение свойств сплавов может быть связано с проведением исследований по следующим основным направлениям:

- отработка режимов термообработки литых пьезоструктурированных материалов;
- поиск новых композиций составов;
- обоснование режимов изостатической обработки для формирования нанокристаллической структуры отливок.

В заключение необходимо отметить следующее:

1. Опрессовка жидкого и кристаллизирующегося металла в условиях изостатического сжатия проходит в две фазы; в первой фазе за счет уменьшения амплитуды температурных колебаний атомов их сближение происходит достаточно быстро и не требует наложения высокого давления, но по мере сближения возникают силы отталкивания, жидкость проявляет упругие свойства – модуль упругости  $\sim 1,6 \cdot 10^7$  Па, сжимаемость жидкого расплава достигает 12% при давлении до 300 МПа; во второй – опрессовка происходит за счет преодоления сопротивления нагромождений атомов заполнению пространств, освобождающихся в момент перехода атомов из жидкого в кристаллическое состояние, опрессовка в этой фазе достигает 1,0%.

2. В процессе опрессовки металл ведет себя как сложное реологическое тело, проявляя при этом свойства вязкой жидкости,

упругого тела, упруго-вязкопластичного тела. Наибольшим инновационным потенциалом располагают закономерности межатомных взаимодействий, когда при температуре кристаллизации пространство, зарезервированное атомом в жидком состоянии в результате отвода скрытой теплоты кристаллизации под влиянием давления уменьшается, когда подобно атомам на поверхности наночастиц соотношение числа атомов с насыщенными и числа атомов с открытыми связями может достичь уровня, обеспечивающего качественное изменение свойств в макроскопических объемах.

3. Задача управления формированием структуры может быть решена в два этапа[6], на первом – зафиксировать сильнонеравновесное состояние обрабатываемого материала, на втором – активированием диффузионных процессов перевести материал в состояние, необходимое для достижения требуемого сочетания свойств.

4. Практическое значение выполненных исследований состоит в том, что в нанотехнологическом мире технологии металлообработки могут быть гармонизированы с качеством жизни, в частности, уже сегодня жизненный цикл целого ряда сплавов можно повторять многократно, изготавливая изделия и заготовки из деталей, прошедших период эксплуатации, методом переплава и кристаллизации в условиях наложения давления, не прибегая к традиционным металлургическим технологиям, требующим в разы больших затрат всех видов ресурсов.

5. Степень готовности к промышленному внедрению достаточно высокая. Основные технические решения защищены патентами РФ. Имеется конструкторская документация на оборудование, технологическую оснастку, на систему управления. Накоплен более чем 20-летний опыт освоения производства деталей из различных сплавов в промышленности.

Литература

1. Баум, Б. А. Металлические жидкости / Б.А. Баум. - М.: Наука, 1980.- 119 с.
2. Никитин, В. И. Наследственность в литых сплавах / В.И. Никитин / Самарский гос.техн.ун-т. – Самара, 1995.- 248 с.
3. Григорович, В. К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа / В.К. Григорьевич. - М.: Наука, 1970.- 292 с.
4. Коростелев, В. Ф. Технология литья с программным наложением давления /

В.Ф. Коростелев. - М.: Машиностроение, 2000. – 204 с.

5. Ягодкин, Ю. Д. Атомное строение фаз / Ю.Д. Ягодкин, Т.А. Свиридова. - М.: МИ-СиС, 2007. - 107 с.

6. Коростелев, В. Ф. Технология и управление формированием нанокристаллического строения изделий из прецизионных сплавов / В.Ф. Коростелев // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – №10. – С. 14-17.

В.Е.Шмелёв, С.А. Сбитнев

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ФАЗОВЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ВЕНТИЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ОБРАЩЁННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Авторы разработали основу нового пространственно-фазового (П-Ф) класса методов моделирования электромеханических процессов. Суть этих методов заключается в моделировании процесса при фиксированном состоянии анализируемой системы, что позволяет исключить из уравнений время. П-Ф методы основаны на преобразовании пространственно-временных уравнений математической физики в П-Ф форму [1, 2]. Один из разработанных методов этого класса основан на уравнениях математической физики относительно нулевой и первой фазовых переменных векторного магнитного потенциала. Этот метод позволяет учитывать динамические эффекты первого порядка при электромеханическом преобразовании и их влияние на энергетические режимы работы электрических машин.

Динамика изменения всех физических величин в П-Ф методах учитывается путём введения скалярных и векторных полей фазовых переменных. Такой принцип анализа позволяет существенно уменьшить потребность в вычислительных ресурсах компью-

тера, не накладывает никаких ограничений на линейность или нелинейность электрофизических свойств вещества, а также на характер механического движения всех тел, принимающих участие в электромеханическом преобразовании энергии. Все физические величины рассчитываются в неоднородно движущейся системе отсчёта, жёстко связанной с полем скоростей, частных ускорений и т.д. Вид получаемых уравнений математической физики не противоречит принципу относительности движения Галилея. Следовательно, данный класс методов инвариантен по отношению к выбору глобальной инерциальной системы отсчёта механического движения тел.

В новом классе методов не требуется расчёт переходных процессов в электромагнитных полях (ЭМП), а динамические свойства электромеханических преобразователей моделируются в пространстве состояний для электродинамических потенциалов. Входными данными моделей являются описание геометрии всей электромагнитной системы, параметры электрофизических свойств ма-

териалов деталей электромагнитной системы, распределение переменных состояния источников ЭМП. Выходными данными являются точки семейства динамических характеристик электромеханического преобразователя, представляемых функциональными зависимостями электромагнитного момента, действующего на ротор, и напряжений на всех обмотках от углового положения ротора и токов во всех обмотках, а также их производных по времени до  $n$ -го порядка включительно. Для большинства практически значимых случаев обычно бывает достаточно первого или второго порядка.

Ниже представим результаты вычислительных экспериментов с пространственно-фазовыми моделями трёхфазной вентильной электрической машины с постоянными магнитами с плоскопараллельным магнитным полем (токи направлены перпендикулярно расчётной плоскости) и плоскопараллельным электрическим полем (в силу симметрии системы выполняется условие короткого замыкания на плоскостях, параллельных расчётной и бесконечно удалённых от неё).

Моделирование выполнено в программном комплексе COMSOL Multiphysics. Этот комплекс принципиально отличается от других программных продуктов, предназначенных для решения задач математической физики, тем, что типовые формы уравнений в частных производных (PDE) обладают наибольшей общностью, и имеются неограниченные возможности их комбинирования при построении систем уравнений. В COMSOL Multiphysics поддерживается три формы PDE: коэффициентная, генеральная и ослабленная проекционная. Генеральная форма представляется наиболее удобной для моделирования, т.к. она не требует доведе-

ния до логического конца вывода уравнений математической физики и даёт возможность достаточно легко описывать нелинейности электрофизических свойств вещества. Здесь кратко представим результаты двумерного моделирования в генеральной форме.

Введём систему фазовых переменных электродинамических потенциалов при фиксированном состоянии электромеханической системы [1]. Нулевые фазовые переменные – это сами потенциалы. Первые фазовые переменные имеют размерность производных по времени от нулевых переменных, но не равны этим производным.

Система двумерных П-Ф уравнений, учитывающих динамические эффекты первого порядка, имеет вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H}_H &= \boldsymbol{\delta} + \gamma \mathbf{E}_H, & \operatorname{rot} \mathbf{H}_{H1} &= \boldsymbol{\delta}_1, & \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \boldsymbol{\delta} + \gamma \mathbf{E}, \\ \operatorname{rot}(\mathbf{H}_1 + 2(\mathbf{H}_H \nabla) \mathbf{v} + \mathbf{H}_H \times \operatorname{rot} \mathbf{v} - \mathbf{H}_H \cdot \operatorname{div} \mathbf{v}) &= \boldsymbol{\delta}_1, \\ \mathbf{H}_H &= v_a(\mathbf{B}_H - \mathbf{B}_r) + q_1 \frac{d}{dt}(\mathbf{B}_H - \mathbf{B}_r), & \mathbf{H} &= v_a(\mathbf{B} - \mathbf{B}_r) + q_1 \frac{d}{dt}(\mathbf{B} - \mathbf{B}_r), \\ \mathbf{H}_{H1} &= v_a(\mathbf{B}_{H1} - \mathbf{B}_r), & \mathbf{H}_1 &= v_a(\mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_r). \end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнений (1) дополняется соотношениями, определяющими фазовые переменные в неподвижной и подвижной системе тел [1], и после приведения к скалярной форме вводится в COMSOL Multiphysics. Система (1) решается относительно фазовых переменных векторного магнитного потенциала.

На рис.1 показано схематичное изображение поперечного сечения трёхфазной вентильной электрической машины обращённой конструкции. На этом рисунке представлено изображение двумерной расчётной модели в COMSOL Multiphysics в операционном режиме Subdomain Mode. Цифрами обозначены номера зон расчётной области.

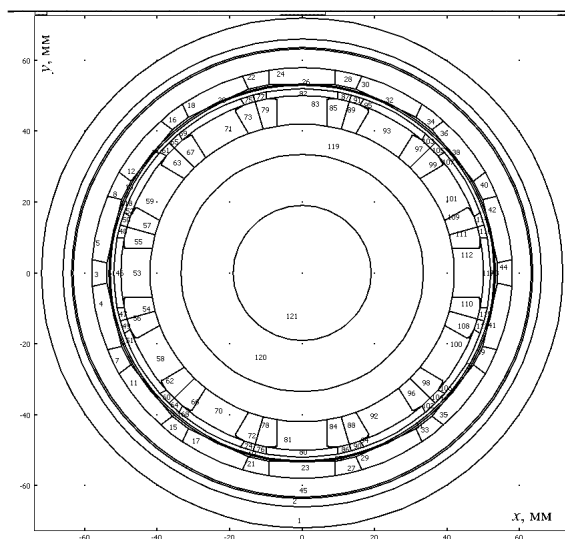


Рис. 1. Схематическое изображение поперечного сечения машины: 1 – наружный воздух; 2 – то же (наружная переходная зона); 45 – магнитопровод ротора, изготовленный из магнитомягкого материала; 4, 5, 11, 12, 17, 18, 23, 24, 29, 30, 35, 36, 41, 42 – основные постоянные магниты ротора; 3, 7, 8, 15, 16, 21, 22, 27, 28, 33, 34, 39, 40, 44 – промежутки между магнитами, которые могут быть заняты или не заняты магнитными клиньями, изготовленными из намагниченного магнитотвёрдого материала; 118 – зазор между ротором и статором (внутренняя переходная зона); 46, 51, 52, 53, 58, 59, 68, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 83, 92, 93, 94, 95, 100, 101, 106, 107, 112, 117 – зубцы статора; 119 – ядро магнитопровода статора; 120 – область, занятая магнитомягким материалом; 121 – внутренний воздух, там есть ещё и вал, но его электромагнитным влиянием можно пренебречь; 54, 55, 56, 57, 62, 63, 66, 67, 72, 73, 78, 79, 84, 85, 88, 89, 96, 97, 98, 99, 108, 109, 110, 111 – межзубцовые области, в которые укладываются фазные обмотки статора; в остальных зонах – немагнитный материал

Пусть магнитных клиньев в роторе нет, основные магниты намагничены до  $B_r = 1.1$  Тл. Для начала предположим, что маши-

на работает в генераторном режиме холостого хода. Для простоты демонстрационного расчёта предположим, что все материалы в модели без потерь и не обладают электрической проводимостью. П-Ф методом мы рассчитали угловые характеристики фазных потокосцеплений и фазных ЭДС в обмотке статора, если ротор вращается против часовой стрелки с частотой 400 об/мин (по техническому заданию это номинальная частота вращения). На рис. 2 показаны угловые характеристики фазных ЭДС статора, рассчитанные путём интегрирования пространственного распределения первой фазовой переменной векторного магнитного потенциала. Для проверки правильности концепции П-Ф методов мы рассчитали те же характеристики путём численного дифференцирования фазных потокосцеплений по угловому положению ротора. Относительная норма разности этих характеристик, полученных разными способами, получилась равной 0,28%.

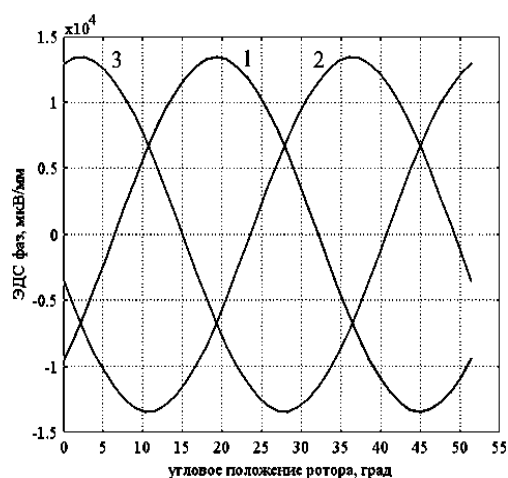


Рис. 2. Угловая характеристика фазных ЭДС статора

На рис. 3 показано распределение напряжённости электрического поля при нулевом угловом положении ротора и частоте вращения 400 об/мин. Видно, что электриче-

ское поле в основном наводится в области статора. В области ротора наводится только зубцовая составляющая этого поля.

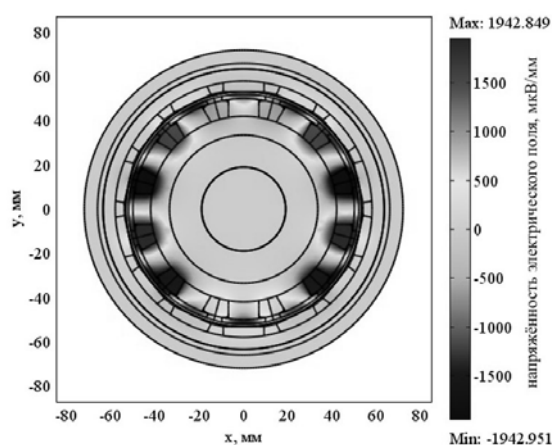


Рис. 3. Распределение электрического поля в сечении машины

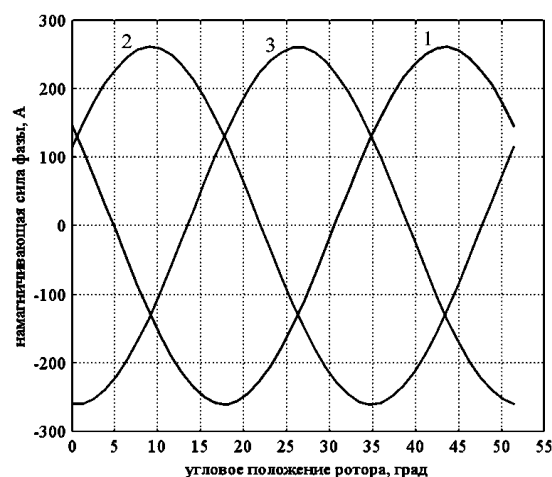


Рис. 4. Идеально требуемые осциллограммы фазных токов статора

Задав постоянный ток поочередно в каждой фазе и прокрутив ротор на  $360/7$  градусов, получим угловую характеристику собственных и взаимных индуктивностей фазных обмоток статора. Расчёт показывает, что пульсации этих индуктивностей настолько незначительны, что их можно считать постоянными. Собственная индуктивность каждой фазы получилась равной  $0.03421739389152$  мкГн/мм. Взаимная индуктивность каждой пары фаз получилась

равной  $7.42907238664e-004$  мкГн/мм. Кривые ЭДС, изображённые на рис. 2, и значения индуктивностей введём в специально подготовленную имитационную модель в COMSOL Multiphysics. Несколько раз прокрутив эту модель в системе MATLAB, изменяя один из её параметров, подберём подходящую для двигательного режима токовую нагрузку фаз и сгенерируем идеально требуемые от электронного устройства управления осциллограммы фазных токов (рис.4). Эти осциллограммы обеспечивают работу машины в режиме максимально возможного коэффициента мощности (реактивная мощность и мощность искажения стремятся к нулю). Расчёт показал, что в этом режиме машина потребляет от внешней цепи  $5167545$  мкВт активной мощности на  $1$  мм активной длины машины. Это соответствует электромагнитному моменту  $123366$  мкНм/мм. В рассчитанном режиме форма кривых фазных напряжений совпадает с формой кривых фазных токов.

Авторами рассчитана угловая характеристика электромагнитного вращающего момента при рассмотренном двигательном режиме. Расчёт показал, что пульсация момента составляет не более  $1,7\%$  и обусловлена вычислительным шумом. Средний за период электромагнитный момент, рассчитанный по П-Ф модели, отличается от той же величины в имитационной модели, генерирующей осциллограммы токов, всего на  $0,6\%$ . Это вполне удовлетворительная точность для конечноэлементной сетки, состоящей из  $25144$  лагранжевых элементов второго порядка с числом степеней свободы  $205764$ . В полевой модели момент, рассчитанный по распределению магнитной индукции, отличается от той же величины, рассчитанной по потребляемой электрической мощности, не более чем на  $0,2\%$ , т.е. видно, что при моделировании П-Ф методом баланс мощностей в машине при электромеханическом преобразовании энергии не нарушается.



В [3] описаны вычислительные эксперименты с простейшей двухфазной асинхронной и синхронной машиной. Показаны распределения фазовых переменных потенциалов, скоростные характеристики момента асинхронной машины, угловые характеристики момента синхронной машины. Все полученные авторами результаты моделирования не противоречат известным в электромеханике фактам.

Выше представлены результаты вычислительных экспериментов с П-Ф моделью машины, активные детали которой изготовлены из материалов без потерь. Теперь зададим ненулевые значения диссипативных параметров электрофизических свойств магнитомягких материалов без учёта магнитного гистерезиса. Осциллограммы фазных токов оставим такими же, как на рис. 4. Пусть удельная электрическая проводимость обоймы ротора и втулки статора равна  $0.01 \text{ МСм/мм}$ , а магнитопровод статора представляет собой пакет из листов электротехнической стали толщиной  $h = 0,5 \text{ мм}$ . Удельная электрическая проводимость этой стали равна  $0,002 \text{ МСм/мм}$ . Параметр  $q_1$  для пакета статора рассчитывается по формуле

$$q_1 = \frac{\gamma h^2}{12}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – удельная электрическая проводимость материала пластины,  $h$  – толщина пластины. Формула (2) получена из решения задачи пространственно-частотного расчёта поверхностного эффекта в плоской проводящей пластине.

На рис. 5 показаны рассчитанные П-Ф методом осциллограммы мгновенных напряжений в фазах обмотки статора без учёта падений на сопротивлениях проводов, но с учётом потерь на вихревые токи в магнитопроводах статора и ротора. Их начальные фазы практически совпадают с начальными фазами токов.

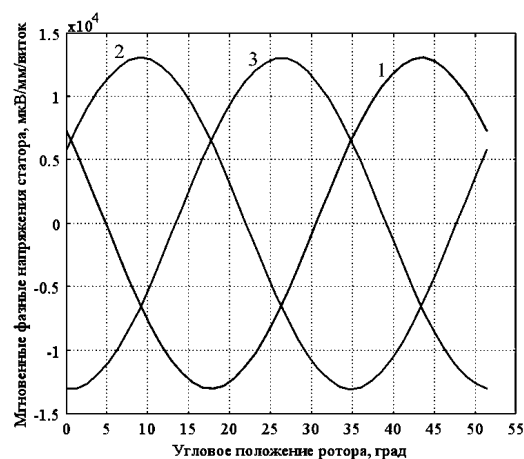


Рис. 5. Осциллограммы фазных напряжений статора

На рис. 6 показаны графики мгновенных значений потребляемой электрической мощности и механической мощности электромагнитного момента машины в двигательном режиме. На этих графиках отчётливо видно наличие потерь энергии в процессе электромеханического преобразования. В данном случае это потери на вихревые токи в магнитопроводящих материалах статора и ротора. Заметны также пульсации мгновенной электрической мощности. Пульсации механической мощности в данном случае в основном связаны с вычислительным шумом.

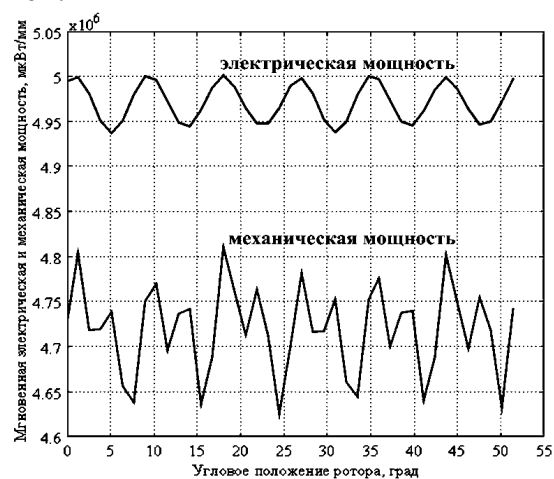


Рис. 6. Графики электрической и механической мощности машины

Интегральные энергетические параметры моделируемого режима получились равными: полная электрическая мощность 4,971591 Вт/мм, активная электрическая мощность 4,971591 Вт/мм, коэффициент мощности 1 (с относительной точностью вычислительного эксперимента до  $10^{-7}$ ), средняя двигательная механическая мощность 4,72 Вт/мм, средний вращающий электромагнитный момент 112678 мкНм/мм, относительная потеря электрической мощности на вихревые токи 5 %. По результатам вычислительных экспериментов с моделью режима работы машины можно выполнить детальный анализ баланса мощностей и составляющих потерь энергии в отдельных областях при электромеханическом преобразовании. В этой статье такой анализ мы проводить не будем, т.к. основной целью является краткая демонстрация возможностей П-Ф класса методов.

#### Заключение

Благодаря П-Ф моделированию все характеристики динамических свойств преобразователей могут быть представлены в пространстве состояний функциональными зависимостями вида [1, 2]:

$$\{M_M, [U]\} = f\left(\alpha, \frac{d\alpha}{dt}, \frac{d^2\alpha}{dt^2}, [I], \frac{d[I]}{dt}, \frac{d^2[I]}{dt^2}\right). \quad (3)$$

Все стандартные характеристики электрических машин вращательного движения являются частными случаями характеристик

вида (3), например механическая характеристика, угловая характеристика момента, характеристики холостого хода, нагрузочные и регулировочные характеристики двигателей и генераторов. Характеристики вида (3) напрямую связаны с энергетическими показателями работы машины. По характеристикам (3) несложно строить алгоритмы управления машинами, обеспечивающие максимально возможные значения энергетических показателей (КПД, коэффициент мощности и др.). Из этого следует, что П-Ф методы моделирования процессов электромеханического преобразования энергии весьма полезны для комплексного проектирования электроприводов и генерирующих комплексов в целом, включая электромашинную и электронную часть.

#### Литература

1. Шмелёв, В. Е. Пространственно-фазовое моделирование электро-механических процессов в машинах с постоянными магнитами в системе конечноэлементных расчётов FEMLAB / В.Е. Шмелев, С.А. Сбитнев // Электротехника. – 2004. – № 8. – С. 50–54.

2. Shmelev V., Sbitnev S. Space-Phase Modelling of Electromechanical Processes in Motion Machines. 2D Model Realization// Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Users Conference 2006 Prague.

П.А. Полушин, С.А. Самойлов,  
М.В. Гиршевич

### АНАЛОГОВОЕ КОДИРОВАНИЕ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Принципы кодирования были разработаны для повышения помехоустойчивости при передаче цифровой информации и использу-

ются практически только в применении к цифровым потокам [1, 2]. Подавляющее большинство методов кодирования исполь-

зует избыточность при передаче сигналов. В связи с тем что передается большее количество символов, чем в исходном сообщении, появляется возможность локализовать и исправлять появляющиеся ошибки. Эффективность различных методов кодирования зависит от разнообразных факторов и показателей, и основной причиной, обуславливающей возможность их применения, является избыточность, имеющаяся в основном во временной, реже – в частотной области.

В то же время в аналоговых системах повышение помехоустойчивости по большому счету также достигается введением избыточности [3]. Это проявляется в том, что полоса спектра сигнала при передаче (например при частотной модуляции) значительно больше, чем полоса спектра исходного информационного сообщения. Поскольку «идеологии» цифровой и аналоговой передач значительно различаются, то и методы использования избыточности в обоих случаях качественно разные.

В то же время здесь, как и во многих областях техники, взаимопроникновение различных подходов может дать полезные результаты. Рассмотрим один из таких подходов.

Как известно, при систематическом кодировании при передаче цифровой информации часть передаваемых символов сигнала идентична символам исходного сообщения, передаваемые дополнительно проверочные символы образованы по определенным правилам из информационных символов. Правила их образования и определяют тот или иной метод. Подобный подход можно положить в основу и при передаче аналоговых сигналов (без их преобразования в цифровую форму), когда наряду с исходным сигналом дополнительно передается образованная также по определенным правилам комбинация его частей, т.е. осуществить *аналоговое кодирование*.

Рассмотрим реализацию подобного подхода.

Пусть полоса спектра исходного информационного сигнала разбивается на  $r$  фрагментов. (Если нет причин для неравномерного разбиения, то будем считать ширину всех  $r$  полос одинаковой). При использовании группового сигнала с частотным разделением каналов в этом случае в полосу каждого фрагмента включается одинаковое число каналов. Ширина полосы исходного полезного сигнала равна  $P_C$ . В то же время пусть в распоряжении системы для передачи информации имеется более широкая полоса частот, равная  $P_0$ . В этом случае в пределах частотного ресурса системы может быть размещено  $M = rP_0/P_C$  фрагментов.

Если узкополосные помехи или селективно-частотные замирания поразят хотя бы один из  $r$  фрагментов, то без применения описываемого метода часть передаваемой информации утрачивается. В случае же использования аналогового кодирования даже при воздействии помех возможно восстановление утраченной части. Необходимо, чтобы неповрежденными остались какие-нибудь любые  $r$  из  $M$  фрагментов, этого будет достаточно, чтобы восстановить сигнал в областях спектра, пораженных помехой. Расположение поврежденных фрагментов в пределах полосы  $P_0$  может быть произвольным.

Оценим вероятность безвозвратной утери части информации в обеих ситуациях. Обозначим вероятность поражения одного фрагмента помехой или глубоким замиранием через  $P_1$ . Будем считать факты появления помех в полосах всех фрагментов внутри  $P_0$  взаимно независимыми. Тогда вероятность повреждения при отсутствии кодирования равна

$$P_2 = rP_1 .$$

При аналоговом кодировании, для того чтобы восстановление сигнала стало невоз-

возможным, должно поразиться не менее  $M-r+1$  фрагментов. Вероятность такого события равна

$$P_3 = \sum_{j=M-r+1}^M C_j^M P_1^j (1-P_1)^{M-j}.$$

При одинаковых значениях  $P_1$  значение вероятности  $P_3$  значительно ниже, чем  $P_2$ .

Если величина  $\Pi_0$  в целое число раз превышает величину  $\Pi_C$ , то в обычных условиях может быть организован частотно-разнесенный прием, если части общей полосы  $\Pi_C$  могут вместить по  $r$  фрагментов. В этом случае помехоустойчивость также повышается, так как пораженные помехой части одного разнесенного сигнала можно заменить на соответствующие неповрежденные части другого сигнала. Однако и в этом случае использование аналогового кодирования значительно улучшает помехоустойчивость, так как если помехи или замирания поразят одинаковые фрагменты во всех каналах разнесения, то часть передаваемой информации все равно утратится. Пусть кратность разнесения равна  $N$  и внутри общего частотного ресурса может быть размещено  $M = Nr$  фрагментов. Тогда вероятность того, что будет утрачена информация при «классическом» разнесении, равна

$$P_2 = 1 - (1 - P_1^N)^r \approx rP_1^N.$$

При аналоговом кодировании для утраты должно поразиться не менее  $Nr-r+1$  фрагментов. Вероятность такого события равна

$$P_3 = \sum_{j=Nr-r+1}^{Nr} C_j^{Nr} P_1^j (1-P_1)^{Nr-j}.$$

Графики соответствующих зависимостей для некоторых сочетаний параметров приведены на рис. 1.

Прерывистые графики соответствуют «классическому» разнесению, сплошные графики – кодированию. Номера (в скобках)

сплошных графиков соответствуют ситуациям:  $N=2, r=2$  (1);  $N=2, r=3$  (2);  $N=2, r=4$  (3);  $N=2, r=6$  (4);  $N=3, r=2$  (5);  $N=3, r=3$  (6);  $N=3, r=4$  (7);  $N=3, r=6$  (8);  $N=4, r=2$  (9);  $N=4, r=3$  (10);  $N=4, r=6$  (11). Номера прерывистых графиков соответствуют ситуациям:  $N=2, r=2$  (12);  $N=2, r=6$  (13);  $N=3, r=2$  (14);  $N=3, r=6$  (15);  $N=4, r=2$  (16);  $N=4, r=6$  (17);  $N=6, r=2$  (18).

Из графиков следует, что вероятность утраты информации и в этом случае значительно снижается. Кроме того, из графиков можно заключить, что для достижения такого же снижения вероятности потери информации требуется заметное увеличение кратности разнесения, если аналоговое кодирование не используется, то есть его использование равносильно эквивалентному увеличению кратности разнесения.

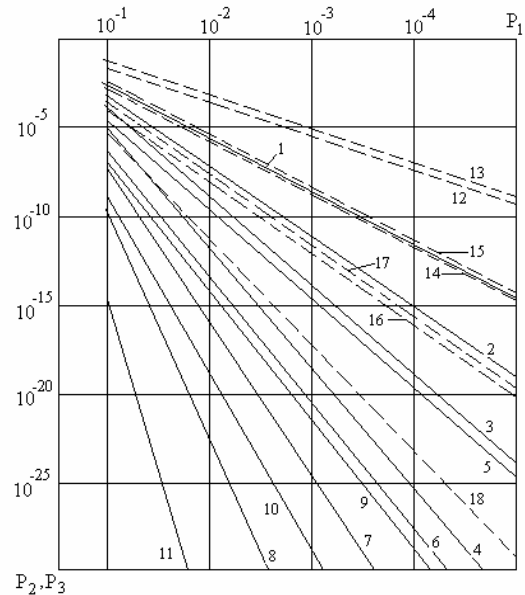


Рис. 1

Необходимо отметить, что для применения метода не требуется, чтобы имеющийся в распоряжении частотный ресурс  $\Pi_0$  делился на величину  $\Pi_C$  нацело. Отношение общего числа передаваемых фрагментов  $M$  к числу фрагментов  $r$ , укладываемых в полосу исходного информационного сигнала (т.е.  $\Pi_0/\Pi_C$ ), вполне может быть и дробной

величиной. Таким образом, в то время как при обычных видах разнесения кратность разнесения является, как известно, целой величиной, описываемый метод может расцениваться как использование *дробной* кратности разнесения.

Возникает вопрос: из каких соображений должно выбираться правило использования полос имеющихся избыточных  $M-r$  фрагментов? При цифровом кодировании избыточные символы получают применением различных логических функций к совокупности информационных символов. При переносе этого принципа на аналоговое кодирование простейший подход будет заключаться в том, что в полосе каждого избыточного фрагмента должна передаваться линейная комбинация сигналов из  $r$  исходных информационных фрагментов. В общем случае линейное преобразование совокупности  $r$  исходных фрагментов в  $M$  передаваемых можно описать в виде некоторой матрицы  $Q$  размерами  $M \times r$ .

При выборе коэффициентов этой матрицы можно руководствоваться различными правилами. Предлагается метод использования коэффициентов матрицы, обеспечивающих при обратном преобразовании (восстановлении исходного сигнала) минимум остаточной мощности тепловых шумов.

Первое естественное требование при этом заключается в том, что при удалении любых  $M-r$ -строк получившаяся в результате этого квадратная матрица размерами  $r \times r$  должна быть невырожденной. (Это необходимо, чтобы на приемной стороне была возможность восстановить исходный информационный сигнал). Это требование должно соблюдаться при любом варианте удаления строк.

Другое требование обусловлено следующим. Если в исходном информационном сигнале шумовые колебания в различных полосах можно было считать взаимно некоррелированными, то после восстановле-

ния на приемной стороне каждая полоса может восстанавливаться из нескольких фрагментов, причем некоторые фрагменты могут участвовать в восстановлении одновременно нескольких полос. В результате шумовые колебания в разных полосах могут стать частично коррелированными. Это приводит к определенному возрастанию уровня АБГШ после восстановления, причем при неудачном выборе матрицы это возрастание может оказаться значительным.

Алгоритмы получения оптимальных значений весовых коэффициентов для различных сочетаний  $r$  и  $M$  исследовались в [4]. Следует отметить, что величина оптимальных значений коэффициентов оказывается отнюдь не очевидной. Например, в простейшем случае, когда  $r=2$  и  $M=3$ , казалось бы, в полосах первых двух фрагментов следует передавать сигналы  $S_1$  и  $S_2$ , равные половинам  $A$  и  $B$  исходного информационного сообщения,  $S_1 = A$  и  $S_2 = B$ , а в третьей (избыточной) полосе – их линейную комбинацию  $S_3 = (A+B)/\sqrt{2}$ . (Корень необходим для нормировки по уровню средней мощности). Если же стремиться к минимуму остаточной мощности шумов после восстановления на приемной стороне, то передаваемые фрагменты должны формироваться следующим образом:  $S_1 = A$ ;  $S_2 = -0,5A + 0,87B$ ;  $S_3 = -0,5A - 0,87B$ . Выигрыш по отношению мощностей сигнала и шума при этом составит [4] около 25 %.

Представляет определенный интерес процедура восстановления сигнала на приемной стороне. Обычные методы комбинирования разнесенных сигналов здесь неприменимы, так как количество применяемых фрагментов  $M$  может быть некратно  $N$ . Кроме того, необходимо одновременно обеспечивать восстановление исходного сигнала и минимизировать мощность шумов. Это требует применения обобщенных методов комбинирования.

Аналоговое кодирование позволяет восстанавливать сигнал, когда повреждено до  $M-r$  фрагментов. В этом случае на приемной стороне используется укороченная матрица  $Q_K$ , из которой удалены строки, соответствующие исключенным из рассмотрения поврежденным фрагментам принятого сигнала. Матрица  $H$ , используемая для восстановления сигнала, будет иметь вид

$$H = Q_K (Q_K^T Q_K)^{-1},$$

где знак  $T$  означает операцию транспонирования.

Если при приеме уровни отдельных фрагментов различаются и различаются мощности шума в полосах разных фрагментов, то необходимо использовать матрицу вида:

$$H = Q_K (Q_K^T U R^{-1} Q_K)^{-1},$$

где векторы  $U$  и  $R$  описывают уровни сигналов фрагментов и мощность шума в их полосах.

Можно отметить интересное сходство описываемого метода с голографическими принципами создания изображений, когда в каждом фрагменте голограммы присутствует информация обо всем изображении. Утеря отдельных фрагментов голограммы позволяет тем не менее восстановить исходное изображение, правда, с некоторой утерей качества.

Метод аналогового кодирования может быть реализован также и во временной области. Если в цифровой связи появляющаяся в распоряжении временная избыточность может легко быть использована для повышения помехоустойчивости путем увеличения мощности кода (увеличение проверочной части блоков), то в случае аналогового сигнала при имеющейся временной избыточности появившиеся дополнительные интервалы времени заполняются лишь пов-

торами переданного сигнала. При этом чтобы не было большой задержки в передаче, сообщение разбивается на блоки длительностью  $T_B$ , которые и повторяются.

В таком понимании временного разнесения в распоряжении системы связи для передачи блока может быть использован интервал времени  $T_H > T_B$ . Причем отношение  $T_H/T_B$  должно быть целым числом. Если  $T_H/T_B < 2$ , то повтор всего блока невозможен. Если  $T_H/T_B$  не целое, но больше двух, то повтор возможен несколько раз, однако какая-то часть блока будет повторена большее число раз, чем другая, либо останется неиспользованный интервал времени.

Подобное применение временной избыточности в виде простого повтора не спасет от периодической импульсной помехи с периодом повторения, близким к  $T_B$ . В этом случае у повторяемых блоков будет поражена помехой одна и та же часть блока, и информация в ней будет утрачена безвозвратно. Временную избыточность, если она имеется в системе связи, можно использовать более эффективно, применяя аналоговое кодирование.

Метод может быть использован при любом соотношении между  $T_H$  и  $T_B$ . В этом случае блок разбивается на  $r$  фрагментов – временных интервалов длительностью  $T_I = T_B/r$ . В интервале  $T_H$  помещается  $M$  таких интервалов. (Отношение  $M/r$  необязательно должно быть целым числом). Для формирования сигнала на всем интервале  $T_H$  используются  $r$  исходных фрагментов  $S_1(t) \div S_r(t)$  интервала  $T_B$ . Оставшийся интервал времени  $T_H - T_B$ , который можно разбить на  $M - r$  временных отрезков  $T_I$ , заполняется сигналами  $S_{r+1}(t) \div S_M(t)$ , получившимися различными линейными комбинациями исходных  $S_1 \div S_r$ . Весовые коэффициенты задаются матрицей  $Q$ , определяемой из тех же соображений, что и в случае частотной избыточности.

Возможный вариант реализации приведен на рис. 2.

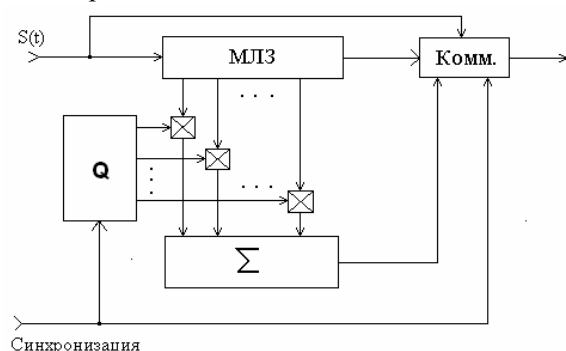


Рис. 2

Информационный сигнал  $S(t)$  поступает на вход многоотводной линии задержки (МЛЗ). Время задержки между отводами равно  $T_1$ . Весовое суммирование производится в сумматоре ( $\Sigma$ ) после умножения сигналов с отводов МЛЗ в перемножителях ( $\times$ ) на требуемые весовые коэффициенты. Необходимые значения весовых коэффициентов для каждого из формируемых фрагментов задаются блоком  $Q$ . Через интервал времени  $T_1$  они одновременно изменяются, формируя очередной фрагмент. Коммутатор (Комм.) подключает на выход входной сигнал  $S(t)$  в течение интервала  $T_B$ , а в течение интервала  $T_H - T_B$  на выход подключается последовательность формируемых фрагментов. Переключение коммутатора и наборов весовых коэффициентов производится сиг-

налами внешней синхронизации. МЛЗ должна иметь не меньше, чем  $M$  отводов. На приемной стороне для восстановления сигнала производится обратное преобразование аналогичной схемой.

Описанный метод аналогового кодирования выступает, как расширение методов кодирования цифровых сигналов на аналоговые сигналы и позволяет значительно увеличить возможности по подавлению узкополосных и импульсных помех и снижению влияния селективно-частотных замираний на радиотехнические системы передачи цифровой информации.

### Литература

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. Морелос-Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение / Р. Морелос-Сарагоса ; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 319 с.
3. Полушин, П. А. Избыточность сигналов в радиосвязи / П. А. Полушин, А. Г. Самойлов. – М. : Радиотехника, 2007. – 256 с.
4. Полушин, П. А. Использование дробной кратности разнесения для повышения помехоустойчивости систем связи / П. А. Полушин // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – № 4. – С. 39 - 43.

М.Н. Герке, С.В. Кутровская, А.О. Кучерик,  
В.Г. Прокошев, С.М. Аракелян

## СИНТЕЗ ПРОТЯЖЕННЫХ МАССИВОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОЙ ПОДЛОЖКИ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЯЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПЛАЗМЕННОГО ФАКЕЛА

### Введение

В настоящее время для получения наночастиц и нанокластеров в процессе лазерной абляции применяют схемы по воздействию на исходный образец в вакууме или буферных газах [1 - 4]. Главным образом это связано с тем, что в атмосферном воздухе начинается реакция горения углерода.

В данной работе приведены опыты по напылению углерода на поверхность холодной подложки при воздействии излучения YAG:Nd лазера в атмосферном воздухе на поверхность углеродосодержащих материалов различной плотности и степени графитизации.

Поверхности подложек после лазерного воздействия исследованы с помощью сканирующего зондового микроскопа Smena В. Зафиксированы образования субмикронных и наноструктур, свойства которых зависят от выбранного материала и условий эксперимента (длительность импульса, длительность воздействия, расстояние между образцом и подложкой).

### Описание эксперимента

Углеродосодержащие образцы (стеклоуглерод, пирографит, спектрально чистый графит) подвергались воздействию лазерного излучения с длительностью импульса 1.5 мс, при этом YAG:Nd лазер работал в режиме свободной генерации с максимальной средней мощностью излучения 100 Вт и частотой следования импульсов 150 Гц. Использование данного режима генерации позволило создавать «долгоживущую» плазму

над поверхностью образца. Схема подведения излучения к поверхности образца и расположения холодной подложки представлена на рис. 1.

Средняя длительность воздействия составляла 30 с, мощность излучения изменялась от 30 до 60 Вт, размер пятна на образце составлял 400 мкм, расстояние между подложкой и поверхностью образца варьировалось от 0.5 до 2.5 мм.

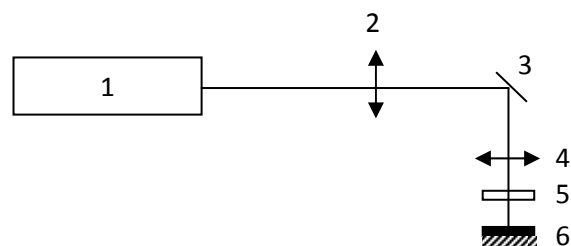


Рис. 1. Схема напыления паров углерода на поверхность холодной подложки: 1 – YAG:Nd – лазер; 2 – фокусирующая линза; 3 – поворотное зеркало; 4 – фокусирующая линза; 5 – стеклянная пластина; 6 – углеродосодержащий образец

### Исследование напыления после лазерного воздействия

После воздействия поверхность подложки исследовалась с помощью атомно-силовой микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе Интегра-Аура в контактном режиме с максимальной площадью сканирования 100×100 мкм и точностью порядка 1 нм в плоскости сканирования. Измерялись рельеф поверхности и распределение



локальной силы трения (латеральные силы), поскольку в данном режиме сканирования возможно получение более контрастного изображения, что позволяет уточнить рельеф образца и отделить исходный материал подложки от поверхности напыления.

При осаждении паров, образующихся над поверхностью стеклоуглерода, в процессе воздействия лазерного излучения (мощность 46,5 Вт, время облучения 30 с и зазор между образцом и подложкой 0,5 мм) удалось зафиксировать на поверхности равномерное распределение напыления (рис. 2, а), в виде отдельно стоящих конусов со средней высотой 40 нм и основанием 300 мкм.

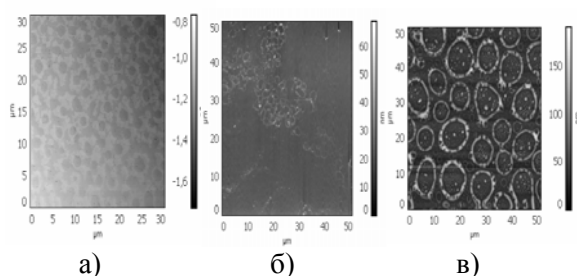


Рис. 2. Осаждение паров углеродных материалов на холодную подложку в воздухе

При аналогичных условиях воздействия на поверхность спектрально чистого графита марки ЭГ-2А для величины зазора 1,5 мм на поверхности холодной подложки удалось выделить образование конгломерата упорядоченных структур, стремящихся образовать замкнутые формы эллиптического вида с диаметром от 3 до 5 мкм и высотой стенок (рис. 2, б) около 35 нм. С увеличением расстояния наблюдалось сначала искажение формы напыления со значительным уменьшением доли замкнутых объектов, а потом – образование равномерного напыления на подложке. При удалении на расстояние больше 2,5 мм напыление не было замечено.

Были проведены эксперименты при том же значении мощности с зазорами от 0,8 до 1,5 мм,

существенных изменений рельефа обнаружить не удалось, а при дальнейшем увеличении расстояния наблюдается значительное разрежение полученных структур вплоть до полного отсутствия напыления при расстоянии 2 мм.

В процессе осаждения паров углерода, образующихся над областью воздействия лазерного излучения на поверхность пирографита, наблюдались образования кольцевых структур на поверхности подложки. Наиболее ярко данные образования зафиксированы на расстоянии 0,8 мм подложки от материала (рис. 2, в). Внутри кольцевых структур большого диаметра 3 - 6 мкм обнаруживаются образования наноконусов с высотой, близкой к высоте стенок кольцевых образований. Внутри «колец» меньшего диаметра дополнительных образований не наблюдалось. Высота стенок явным образом зависит от диаметра структуры и изменяется в среднем от 20 до 90 мкм. Такое поведение напыления позволяет предположить, что структура напыления повторяет доменную структуру поверхности пирографита, таким образом поток частиц с поверхности на небольших расстояниях стратифицирован. Данное предположение подтверждается опытным путем, на расстояниях более 1,5 мм замкнутые структуры не наблюдаются, с величины зазора 2 мм фиксируется равномерное распределение напыления. При контактном напылении, когда отполированная стеклянная подложка располагалась непосредственно на поверхности образца, структура напыления хорошо повторяет форму поверхности образца.

### Выводы

Разработана экспериментальная методика получения наноструктур при осаждении паров углерода на поверхность холодной подложки.

Проведенные исследования по осаждению углерода на холодную подложку при лазерном воздействии на углеродосодержащие материалы позволили определить, что в зависимости от выбранного материала наблюдается изменение свойств оседающих частиц:

изменение размеров наноструктур и их характерной формы. Для более точного анализа предполагается проведение серии опытов по определению структурных свойств с использованием рентгено-структурного анализа и комбинационного рассеяния.

### Литература

1. *Андриевский, Р.А.* Наноструктурные материалы : учеб. пособие для студентов. вузов / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 192 с.

2. *Лозовик, Ю. В.* Образование и рост улеродных наноструктур - фуллеренов, наночастиц, нанотрубок и конусов / Ю. В. Лозовик, А. М. Попов // УФН. – 1997. – т. 167 (7). – С. 151.

2. *Суздаев, И. П.* Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.

3. *Гусев, А. И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.

**Д.В. Абрамов, С.М. Аракелян, М.Н. Герке,  
А.О. Кучерик, С.В. Кутровская, В.Г. Прокошев**

## ФОРМИРОВАНИЕ СУБМИКРОННЫХ И НАНОСТРУКТУР В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕВОДОРОДНОЙ МИШЕНИ

### Введение

Исследование возможности образования наноструктур в поле лазерного излучения является в настоящее время одним из наиболее активно развивающихся направлений лазерной физики [1 - 4]. Развитие данной отрасли связано с тем, что свойства образующихся наноструктур существенно зависят от параметров лазерного излучения (длины волны, длительности импульса, формы пучка). Разработанные в последнее время лазерные системы позволяют охватить большой диапазон данных параметров, что позволяет рассчитывать на генерацию наноструктур с заданными свойствами.

В работе в качестве объекта исследования использовались углеродные образцы различной степени плотности и графитизации.

В проведенных опытах обнаружены зависимости морфологических свойств гене-

рируемых наноструктур от расстояния до центра области воздействия. Показано, что механизмы их образования имеют различную природу. Зафиксированы признаки образования расплава в центре лазерной каверны и осаждения из газовой фазы за границами области воздействия.

### Опыты по воздействию лазерного излучения на поверхность углеродных материалов

Образец подвергался воздействию излучения лазера на YAG:Nd<sup>3+</sup> с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм, работающего в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов  $f = 150$  Гц и длительностью импульса  $\tau = 2$  мс, размер лазерного пятна на образце изменялся от 100 до 400 мкм. Средняя мощность излучения варьировалась в пределах 20 ÷ 200 Вт, при этом обеспечивалась плотность мощности излучения на поверх-

ности образца до  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Длительность времени воздействия  $t$  составляла от 1 до 10 с.

Свойства образцов после воздействия исследовались при помощи зондового и электронного микроскопов.

До времени воздействия менее 3 с признаков плавления материала не наблюдалось, при увеличении времени воздействия  $t > 3$  с наблюдалось появление типичных зон, то есть при сканировании явным образом можно определить качественное изменение рельефа поверхности образца (рис.1), отслеживалось изменение радиального размера наблюдаемой области в целом, глубины центральной зоны каверны, изменение высот рельефа в переходных областях, а также образование множества разломов в центральной зоне.

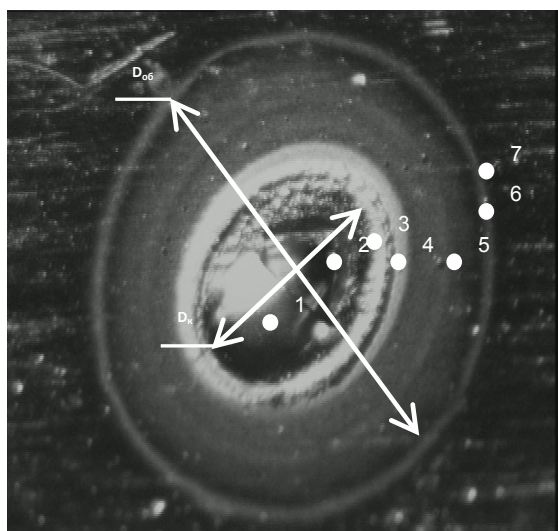


Рис. 1. Изображение каверны на поверхности стеклоглерода с оптическим увеличением 28.  $P = 76$  Вт.  $t = 5$  с

В зоне 1 наблюдается переплавленный углерод, внутри области перепады высот достаточно велики. В зонах 2 и 3 (рис. 2, а) наблюдаются почти регулярные квазидоменные структуры. Из-за высокой повторяемости структур их изображение напоминает образование нанозерен на поверхности

материалов, обрабатываемых при высоких давлениях и температурах [1, 3]. Отличие вида границ «доменов» позволяет определить, что они сформировались под действием различных процессов. Образование в области 3 ярко выраженных правильных многоугольников (в данном случае наблюдались пяти- и шестиугольники) позволяет в соответствии с работами [3, 5], говорить о кристаллизации тонкого слоя однородной жидкости на аморфной поверхности. Разрушение правильных границ в области 2, возможно, является влиянием температурного фактора [3].

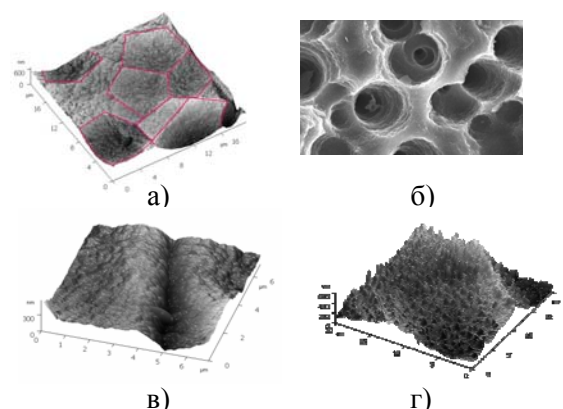


Рис. 2. АСМ и РЭМ – изображения поверхности образца в различных зонах: а – граница каверны, внутренняя область; б, в – граница каверны, внешний край; г – область осаждения паров

На границе каверны, область 4, наблюдается образование ярко выраженных кольцевых структур (рис. 2, б). Между кольцевыми выпуклостями поверхность сильно неоднородна, фиксируются множественные «складки» и образование наносероховатости (рис. 2, в).

В областях 5, 6, 7 были замечены образования «нанопиков», при этом на поверхности образцов удаётся выделить «переходную область». Ее отличительной особенностью является возможность обнаружения исходного рельефа образца под «новообра-

зованиями» (рис. 2, г). Данная область имеет хорошо прослеживаемые границы, её размер зависит от мощности и длительности воздействия лазерного излучения.

Природа возникновения такой зоны, по всей видимости, связана с процессом горячих паров материала, покидающих область воздействия. Можно утверждать, что твердофазное разрушение поверхности под действием возникающих термических напряжений в данном случае не является доминирующим механизмом, поскольку сохраняется первоначальный рельеф.

#### Выводы

Разработана экспериментальная методика получения наноструктур в поле мощного лазерного излучения на поверхности углеродных образцов. Особенностью данного метода является возможность возникновения жидкого углерода внутри области воздействия при облучении в атмосферном воздухе и давлении, близком к 1 атм. Внутри лазерной каверны и за границей области воздействия обнаружены несколько типов наноструктур, отличающихся друг от друга. Характерный вид структур, зафиксированных вблизи центра воздействия, позволяет предположить, что в процессе воздействия образуется жидкая фаза. Зарождение квазидоменов связано, по всей видимости, с процессом кристаллизации расплава [4], а формирование «нанопиков» вблизи кольцевых структур в соответствии с работами [6, 7] определяется процессами микроплавления и массопереноса. Обнаружено, что формирование «нанопиков» вне области воздействия связано с процессом осаждения горячих паров углерода на холодную

поверхность. Работа поддержана грантами РФФИ № 05-08-33410-а, 06-08-96332-р\_центр\_а.

#### Литература

1. Андреевский, Р. А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для студентов вузов/ Р. А. Андреевский, А. В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 192с.
2. Лозовик, Ю. В. Образование и рост углеродных наноструктур – фуллеренов, наночастиц, нанотрубок и конусов / Ю. В. Лозовик, А. М. Попов // УФН. – 1997. – Т. 167 (7). – с. 151.
3. Суздаев, И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов/ И.П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.
4. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
5. Гапонов-Грехов, А. В. Локализованные автоструктуры в двумерных однородных средах/ А. В. Гапонов-Грехов [и др.]. // Письма в ЖЭТФ. – Т. 44. – вып.5. – с. 242 – 244.
6. Simakin A. V., Voronov V. V., Shafeev G. A. Self-organized 3D structures under laser evaporation of solids: formation and properties. Proc. Of SPIE, V # 5121, 2003. – pp. 103 – 109.
7. Асиновский, Э.И., Экспериментальное исследование термических свойств углерода при высоких температурах и умеренных давлениях/ Э.И. Асиновский [и др.] // УФН. – 2002. – Т. 172 (8). – с. 931.

Ю.Т. Панов, Н.Н. Барабанов, З.А. Кудрявцева,  
Е.В. Ермолаева, В.Т. Земскова

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ СИНТАКТНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ**

В настоящее время доля углеродных композиционных материалов в производстве боевых блоков, блоков ракетных двигателей и узлов ракетной и космической техники быстро увеличивается, так как эти материалы отличаются очень высокими прочностными характеристиками, термоокислительной и эрозивной стойкостью, но теплопроводность их в несколько раз выше по сравнению с углепластиковыми, что создало проблему тепловой защиты силовых конструкций с одновременным обеспечением ее минимальной массы.

Для этих целей применяются такие пористые материалы как пеноуглероды и пенографиты, их используют в вакууме, нейтральной или окислительной средах (до 3273 К). Высокопористые неорганические материалы – спеченные порошки или волокна на основе керамики, оксидов, карбидов, нитридов, боридов тугоплавких металлов - работают в вакууме, нейтральной, восстановительной и окислительной средах (до 2273 К).

Получать высокопористые термостойкие материалы (углеродные и карбидные) можно термообработкой газонаполненных полимерных систем. Однако такой метод в отечественной промышленности практически не применялся, так как не существовали технологические процессы, которые позволяли получать пористые термостойкие материалы подобным способом с высокой воспроизводимостью свойств и необходимых размеров и форм.

Это связано со структурными особенностями пенополимеров и необходимостью исследований взаимосвязи морфологических особенностей структуры пенополимеров с

их способностью к карбонизации и карбидизации и методики расчета процесса их термообработки. Решению этого комплекса материаловедческих и технологических проблем были посвящены научные разработки кафедры полимерных материалов ВлГУ с 1970 г. по настоящее время. Разработки выполнялись в соответствии с координационными планами работ института (университета) с АН СССР (РАН), рядом министерств и ведомств.

Для получения пеноуглерода, а затем и пенокарбида в виде изделий различной формы и габаритов необходимо подвергнуть термообработке открытопористые пенопласты, имеющие изотропные свойства, на основе полимеров, отличающихся высокой формоустойчивостью и минимальной усадкой, большим коксовым числом.

Как показали исследования, все промышленные пенопласты обладали анизотропными свойствами или имели низкое коксовое число, или очень высокую усадку. В процессе работы был создан целый ряд термостойких пористых материалов на основе полиакрилонитрила и его сополимеров, поливинилформалина, которые тоже в полной мере не отвечали предъявляемым требованиям.

Проблему создания пенопластов с изотропной структурой при одновременной возможности получения конечного изделия сложной формы и заданных размеров удалось решить созданием технологии изготовления открытопористых синтактных пенопластов на основе резольного связующего и полых фенолоформальдегидных и углеродных микросфер [1 - 9].

Конечные свойства пеноуглерода зависят как от способности к карбонизации и от

свойств полимерной основы исходного пенопласта, так и от параметров ячеистой структуры. Ход структурно-химических преобразований в полимерной основе пенопласта можно изменять за счет режима карбонизации исходного продукта.

Процесс карбонизации характеризуется относительно низкими величинами энергии активации (до 125 кДж/моль), что указывает на превалирование поликонденсационных реакций над деструктивными процессами. Выделяют четыре стадии термического преобразования полимеров в углерод:

- 1) обуглероживание (пиролиз) – 250 – 500 °С;
- 2) карбонизация: образование турбостатной структуры (около 1300 °С);
- 3) предкристаллизационная стадия – начало образования кристаллического графита (1500 - 1900 °С);
- 4) кристаллизация (выше 1900 °С).

Максимальная скорость потери массы полимеров соответствует интервалу 300 – 600 °С. При карбонизации происходят разрыв связей исходной структуры и образование ароматических фрагментов, которые с повышением температуры увеличиваются в размере, образуя углеродные слои. Этот процесс продолжается до 2400 °С. Структура углерода до температуры 900 °С отличается полным отсутствием трехмерной упорядоченности, но практически не графитизируется.

В отличие от графита, обладающего анизотропией таких свойств как прочность, теплопроводность и другие, связанной как с процессами получения, так и особенностями структуры, углерод, полученный при карбонизации синтактных пенопластов, изотропен и имеет одинаковые свойства во всех направлениях. Это связано с особенностью структуры, которая зависит от структуры исходного полимера. Полимеры в процессе карбонизации сохраняют свое надмолекулярное исходное образование. Поэтому уг-

леродные материалы из разных полимеров обладают различным комплексом свойств.

Свойства карбонизованных пенопластов зависят как от свойств полимерной основы, так и от морфологии ячеистой структуры. Характер ячеистой структуры пенопласта определяет его поведение при карбонизации. Большой размер открытых пор, снижение кажущейся плотности, уменьшение толщины стенок ячеек микропоры способствуют выходу газообразных продуктов пиролиза из пенополимеров.

Фотографии структуры пенококсов, полученные с помощью растрового микроскопа, служат еще одним подтверждением высокой формостабильности фенолоформальдегидных пенопластов в широком температурном интервале: сохраняются микросферы, а соответственно, изотропность пенококсов (рис. 1).

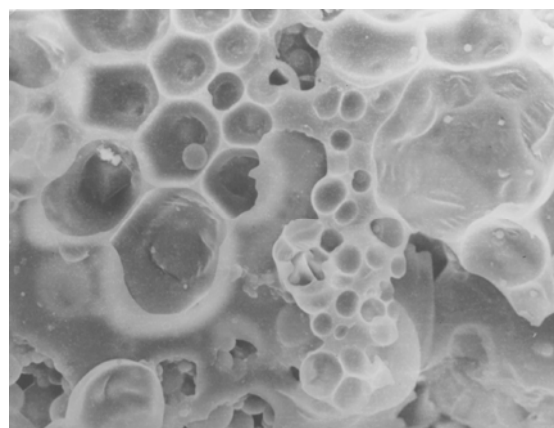


Рис. 1. Микроструктура карбонизованного синтактного пенопласта на основе фенолоформальдегидной смолы и углеродных микросфер (увеличение в 500 раз)

Увеличение размера открытых пор, снижение плотности позволили сократить продолжительность цикла карбонизации в десятки раз.

Таким образом, термообработкой открытопористых синтактных пенопластов можно получать пеноуглерод с равномерной ячеи-

стой структурой без дефектов с кажущейся плотностью 260 - 450 кг/м<sup>3</sup> и с хорошими эксплуатационными свойствами: прочность при сжатии 0,7 – 2,1 МПа, пористость 80 – 95%, теплопроводность 0,13 Вт/м·град. Технология позволяет регулировать ячеистую структуру пенополимера и получать пеноуглерод с выходом 70 % массовых и малой объемной усадкой при использовании углеродных микросфер.

При термообработке не происходит вспенивания композиции, что позволяет модифицировать пенопласты введением других добавок. Было установлено, что присутствие в углеродной матрице порошков кремния и титана и их оксидов приводит к образованию карбидов при температуре выше 1500 К.

Свойства карбидосодержащих материалов определяются целым рядом факторов и, в первую очередь, соотношением олигомера, микросфер и карбидообразующей добавки, видом этой добавки, способом получения исходного изделия, режимами термообработки и т.д.

Различие механизмов образования карбидов титана и кремния подтверждаются электронно-микроскопическими исследованиями, которые позволяют наглядно увидеть появление и рост карбидной фазы (рис. 2, 3).

Однако при разработке промышленной технологии производства пеноуглеродов и пенокарбидов возникла проблема, которая потребовала дополнительных теоретических и экспериментальных исследований: при термообработке в материалах возникают значительные градиенты температур. Если текущий градиент температур превышает предельно допустимое значение, происходит разрушение материала. Экспериментальный подбор технологических режимов не дает удовлетворительного результата, так как требует значительных затрат времени, энергии и сырьевых материалов. Поэтому расчет оптимальных технологических режимов по-

лучения изделий из пеноуглеродов и пенокарбидов различных геометрических размеров и форм проводился с использованием методов математического моделирования [10 - 12].



Рис. 2. Микроструктура пенокарбида кремния с добавкой 60% SiO<sub>2</sub> (увеличение в 500 раз). Температура обработки 1850 К

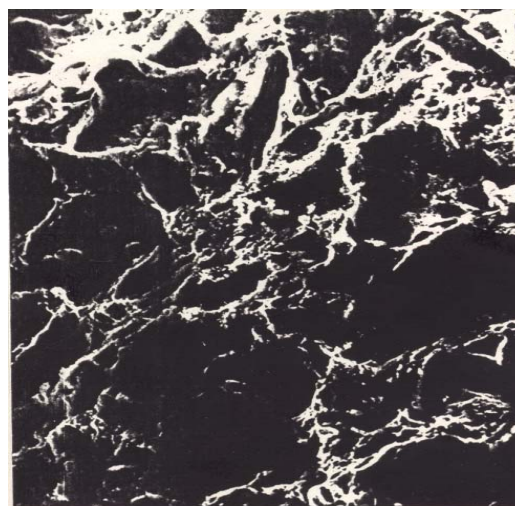


Рис. 3. Микроструктура пенокарбида титана с добавкой 45 % TiO<sub>2</sub> (увеличение в 460 раз). Температура обработки 1950 К

При проведении кинетических исследований методами математического моделирования полагали, что температура образца в силу его незначительных геометрических размеров одинакова в любой точке объема в данный момент времени.

Для расчёта технологических режимов карбонизации и карбидизации образцов больших геометрических размеров это допущение будет некорректным. В таких образцах температура, а следовательно, и объёмные доли  $f_1, f_2, f_3, f_5$  реагентов при карбонизации и количества молей реагентов при карбидизации в различных точках объема будут различными в данный момент времени. Это приводит к возникновению градиентов температур и неравномерности процесса карбонизации и карбидизации по объёму. Поэтому для расчёта распределения температур и компонентов реакций по объёму образца необходимо к уравнениям математического описания кинетики процесса добавить уравнение нестационарной теплопроводности. Таким образом, полное математическое описание процесса карбидизации образцов произвольных геометрических размеров будет иметь вид:

1) для этапа карбонизации

$$\rho_1 \frac{df_1(x, y, z, \tau)}{d\tau} = k_{01}(\rho_1 f_1(x, y, z, \tau))^{n_1} e^{-E_1/RT},$$

$$\rho_2 \frac{df_2(x, y, z, \tau)}{d\tau} = \alpha_1 k_{01}(\rho_1 f_1(x, y, z, \tau))^{n_1} e^{-E_1/RT} - k_{02}(\rho_2 f_2(x, y, z, \tau))^{n_2} e^{-E_2/RT},$$

$$\rho_3 \frac{df_3(x, y, z, \tau)}{d\tau} = \alpha_2 k_{02}(\rho_2 f_2(x, y, z, \tau))^{n_2} e^{-E_2/RT},$$

$$f_4(x, y, z, \tau) = f_4^{нач}(x, y, z, \tau),$$

$$f_5(x, y, z, \tau) = 1 - \sum_{j=1}^4 f_j(x, y, z, \tau),$$

$y_{2k}(x, y, z, \tau) = \rho_3 f_3(x, y, z, \tau)V/12$  – количество молей образовавшегося углерода на стадии карбонизации;

$$P = V \sum_{j=1}^5 \rho_j f_j \quad \text{– масса полимерного связующего;}$$

щего;

$$\alpha_2 = P(\tau)/(P_n \alpha_1),$$

где  $f_j, \rho_j, j=1,5$  – объёмные доли и истинные плотности исходной смолы, пирозоля, кокса (углерода), воздушных включений;  $V$  – объём образца,  $m^3$ ;  $\alpha_1, \alpha_2, k_{01}, k_{02}, E_1, E_2, n_1, n_2$  – приведенные стехиометрические коэффициенты, предэкспоненты, энергии активации, порядки реакций на первой и второй стадиях карбонизации.

2) для этапа карбидизации

$$\frac{dY_1(x, y, z, \tau)}{d\tau} = Z_2 - Z_4 - Z_5 - Z_6 - 3Z_7,$$

$$\frac{dY_2(x, y, z, \tau)}{d\tau} = -3Z_1 - 5Z_2 - 2Z_3 - Z_4,$$

$$\frac{dY_3(x, y, z, \tau)}{d\tau} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + 2Z_7 + Z_6,$$

$$\frac{dY_4(x, y, z, \tau)}{d\tau} = 2Z_1 + 4Z_2 + Z_3 + Z_5 - 2Z_6 - 2Z_7, \quad (1)$$

$$\frac{dY_5(x, y, z, \tau)}{d\tau} = -Z_3 + Z_5,$$

$$\frac{dY_6(x, y, z, \tau)}{d\tau} = -Z_1 - 2Z_2 + Z_7,$$

$$\frac{dY_7(x, y, z, \tau)}{d\tau} = -Z_5 + Z_6,$$

где  $Y_1...Y_7$  – числа молей кремния, углерода, карбида кремния, окиси углерода, окиси кремния, двуокиси кремния, углекислого газа;  $\tau, z$  – текущие время и координаты изделия;  $Z_1...Z_7$  – скорости стадий процесса, которые рассчитываются по соотношениям

$$Z_1 = k_{21}(T)Y_6Y_2^3; \quad Z_2 = k_{22}(T)Y_6^2Y_2^5;$$

$$Z_3 = k_{23}(T)Y_5Y_2^2; \quad Z_4 = k_{24}(T)Y_1Y_2;$$

$$Z_5 = k_{25}(T)Y_1Y_7; \quad Z_6 = k_{26}(T)Y_1Y_4^2;$$

$$Z_7 = k_{27}(T)Y_1^3Y_4^2,$$

где  $k_{21}...k_{27}$  – константы скоростей на соответствующей стадии карбидизации, которые подчиняются закону Аррениуса.



3) по тепловому режиму

$$\frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = a(\varphi_i) \nabla^2 T(x, y, z, \tau); \quad (2)$$

где  $a(\varphi_i)$  - температуропроводность материала, которая зависит от объёмных долей компонентов реакции и практически не зависит от температуры;  $x, y, z$  - декартовы координаты.

Таким образом, система дифференциальных уравнений (1 – 2) с заданными начальными и граничными условиями представляет собой полное математическое описание процессов карбонизации и карбидизации, которое может быть использовано для расчёта технологических режимов термообработки образцов различных геометрических форм и размеров.

Пенокарбиды используются как теплозащитные покрытия в самолётостроении и ракетно-космической технике. В соответствии с потребностью этих отраслей рассматривались образцы следующих геометрических форм:

- прямоугольного параллелепипеда;
- плоской пластины;
- полого осесимметричного усеченного конуса.

Ниже приведено математическое описание для расчета теплового режима изделия в форме полого усеченного конуса (нагрев происходит с торцевых и боковых поверхностей):

$$\frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial y^2} + \frac{1}{\tilde{x} - y \operatorname{ctg} \alpha + R_1} \cdot \frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial x} \right). \quad (3)$$

С целью получения изделий с заданными теплофизическими и механическими свойствами необходимо, чтобы возникающий градиент температур в изделии  $dT(\tau)/dL$  не превышал предельно допустимого значения  $(dT/dL)_{\text{пр}}$ , которое определяет термомеханическую прочность образца. Если текущий

градиент температур выше предельно допустимого  $dT(\tau)/dL > (dT/dL)_{\text{пр}}$ , то в изделии за счет возникающих внутренних напряжений могут образовываться микротрещины, механическая прочность образца при этом будет уменьшаться, что приведет к браку в образце. В соответствии с этим необходимо найти такую оптимальную скорость подъема температуры в печи нагрева, при которой текущий градиент температур в образце не превышал бы с заданной степенью точности предельно допустимое значение  $(dT/dL)_{\text{пр}}$ . При карбонизации синтактных пенопластов на основе фенолоформальдегидных смол экспериментально установлено, что предельно допустимый градиент температур в объеме образца составляет приблизительно 800 град/м.

Таким образом, задача оптимизации технологического режима процесса карбидизации может быть сформулирована следующим образом: для изделий различных геометрических размеров и форм найти такую скорость подъема температуры в печи карбидизации, при которой возникающий в изделии градиент температур не превышал бы предельно допустимого значения с заданной степенью точности (конечная температура в печи нагрева составляет 1973 К). При найденной оптимальной скорости изменения температуры рассчитать время выдержки изделия в печи карбидизации при температуре 1973 К и полное время карбидизации.

На основании полученного математического описания (1 - 3) разработана *Matlab*-программа, по которой проведены расчеты различных тепловых режимов нагрева изделий. Результаты расчетов отражены в обобщенной диаграмме (рис. 4), на которой нанесены контурные линии полного времени термообработки *Taupol* и контурная линия для максимального градиента температуры *Grtmax*, равного 819 град/м (предельно допустимое значение). Область выше этой линии – запретная область.

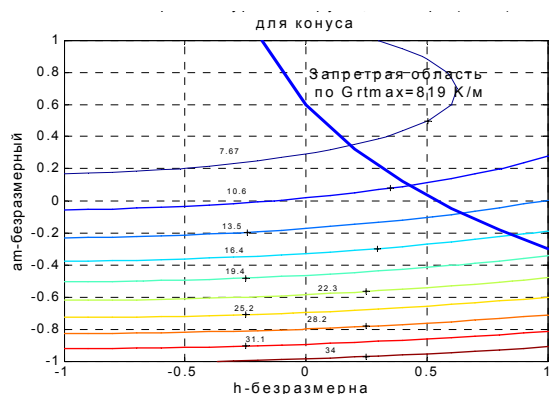


Рис. 4. Обобщенная диаграмма для определения оптимальных значений скорости нагрева  $am$  и полного время карбидизации  $Taupol$  при заданной толщине стенки конуса

По полученной обобщенной диаграмме, задавая толщину стенки конуса и градиент температур в изделии, не превышающий 819 град/м, находят оптимальную скорость нагрева образца  $am$  и полное время карбидизации.

Авторы считают необходимым указать, что данное научно-техническое направление, развиваемое на кафедре, неразрывно связано с именем д.т.н., проф. А.Д. Митрофанова (1946 – 2001) и рядом сотрудников кафедры: к.т.н. С.П. Дорофеевым, к.т.н. В.М. Мамонтовым, д.т.н. В.Ю. Чухлановым и др.

### Литература

1. Митрофанов, А. Д. Прессовый способ получения синтактных пенопластов/ Митрофанов А. Д. [и др.]// Оборонная техника.- М., 1985. Вып. 15. – С. 25 - 27.
2. Швейкин, Г. П., Митрофанов, А. Д., Моняков, А. Н. Способ получения пеноячеистого тугоплавкого материала. Пат. РФ № 2057100, 1996.
3. Швейкин, Г. П., Митрофанов, А. Д., Моняков, А. Н. и др. Шихта для получения пенокерамического материала. Пат. РФ № 2052427, 1996.
4. Швейкин, Г. П., Митрофанов, А. Д., Любимов, В. Д., Манаков, А. И., Моняков А.Н. и др. Шихта для получения пенокерамического материала. Пат. РФ № 2057740, 1996.

5. Швейкин, Г. П., Митрофанов, А. Д., Любимов, В.Д., Манаков, А.И., Моняков, А.Н. и др. Шихта для получения пенокерамического материала. Пат. РФ № 2055053, 1996.

6. Митрофанов, А. Д. Синтактные пенопласты на основе терморезактивных смол / А.Д. Митрофанов, В.Ю. Чухланов, В.М. Мамонтов [и др.]// Вопросы оборонной техники. – М. – 1990. – Сер.15. – Вып.2. – С. 29 - 31.

7. Кузурман, В. А. Пеноматериалы на основе карбидов кремния и титана / В. А. Кузурман, А. И. Манаков, А. Д. Митрофанов [и др.] // Порошковая металлургия. – 1993, № 9 – 10. – С.73 – 77.

8. Кудрявцева, З. А., Митрофанов, А. Д., Ермолаева, Е. В. Влияние морфологии ячеистой структуры пенополимеров на процесс термообработки и свойства пеноуглеродов / З. А. Кудрявцева, А. Д. Митрофанов, Е. В. Ермолаева // Пластические массы. 2000. – №11, С.10 -12.

9. Панов, Ю. Т., Моняков, А. Н., Барабанов, Н. Н., Земскова, В. Т. Изучение возможности получения карбидосодержащих материалов на основе синтактных пенополимеров/ Ю. Т. Панов [и др.] //Вопросы оборонной техники (Композиционные неметаллические материалы в машиностроении). – 2006. – Вып. 3 (144) – 4(145). – С.26 – 29.

10. Митрофанов, А. Д. Математическое моделирование процесса карбонизации полимерных композиций/ А. Д. Митрофанов, Н. Н. Барабанов, С. Т. Романовский [и др.] // Вопросы оборонной техники. – 1989. – Вып. 15. – С. 33

11. Панов, Ю. Т., Моняков, А. Н., Барабанов, Н. Н., Земскова, В. Т. Моделирование и расчет оптимальных режимов получения изделий различных геометрических форм из пенкарбидов/ Ю. Т. Панов [и др.] // Вопросы оборонной техники (Композиционные неметаллические материалы в машиностроении). – 2006. - Вып. 3 (144) – 4(145). – С.22 – 26.

12. Панов, Ю. Т., Моняков, А. Н., Барабанов, Н. Н., Земскова, В. Т. Математическая модель кинетики процесса получения пенкарбидов кремния/ Ю. Т. Панов [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. Технология. – 2006. – Т.49. - Вып. 4. – С. 113 – 115.

Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко,  
М.М. Карева

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В задачи экологического мониторинга объектов окружающей среды входит наблюдение за состоянием растительного и почвенного покровов различных природно-территориальных комплексов. При этом необходимо учитывать, что состояние объектов наблюдения изменяется постоянно, происходящие изменения носят комплексный характер и зависят от временных и пространственных параметров. Использование данных дистанционного зондирования, которые охватывают большие территории и отражают различные природные взаимосвязи, позволяют исключать случайные или кратковременные изменения, фиксируя внимание на процессах трансформации экологического состояния наблюдаемой экосистемы.

Ландшафт, отраженный на многозональных космических снимках, представляет совокупность объектов, отличающихся по цвету и яркости, изменяющихся под воздействием различных природных и антропогенных факторов, что позволяет использовать дистанционные изображения для комплексной оценки состояния растительности и почв [1, 7]. В данной работе для таких целей использованы методы, основанные на анализе спектральных кривых и вегетационных индексов, что обусловлено различиями в спектральной отражательной способности почв и растительности.

### Характеристика объектов исследования

Исследование проводилось на примере бассейнов рек Колокши и Пекши, принадлежащим притокам реки Клязьмы, расположенным по соседству друг с другом. Они имеют много общего в ландшафтной и поч-

венной структуре, но вместе с тем каждый из них характеризуется индивидуальными особенностями. Так, бассейн р. Колокши отличается большей почвенно-ландшафтной однородностью, в то время как для территории бассейна Пекши характерно разнообразие почвенных и ландшафтных условий.

*Бассейн реки Колокши* практически полностью расположен на территории природного района Ополье. В геоморфологическом отношении это средневысотная равнина, сильно изрезанная густой овражно-балочной сетью. Абсолютные высоты от 200 – 215 до 130 – 100 м над уровнем моря. Наиболее возвышена северо-западная часть бассейна, к югу рельеф понижается. Бассейн Колокши находится в зоне серых лесных суглинистых почв (табл. 1). Большая часть бассейна занята серыми лесными почвами, а также смытыми и намывными почвами оврагов и балок. Эти почвы встречаются по всему бассейну за исключением небольшой территории в нижней его части. В средней части бассейна вдоль р. Колокши и на юге формируются дерново-подзолистые почвы преимущественно суглинистого состава. Понижения обычно заняты болотными почвами.

*Бассейн реки Пекши* немного меньше по площади бассейна Колокши, но более разнороден в ландшафтном отношении. На его территории находится три природных района: Клиско-Дмитровская гряда (около 50 %), Левобережная Мещера (около 30 %) и Ополье (около 20 %). Наиболее возвышенные участки бассейна расположены на севере (200 – 230 м), к югу отмечается понижение высотных отметок до 100 – 130 м.

Бассейн Пекши отличается от бассейна Колокши неоднородностью почвенного покрова. Через его территорию проходит граница двух почвенных зон Владимирской области. Северная часть бассейна и участки, граничащие с бассейном Колокши, относятся к зоне серых лесных суглинистых почв, южная же половина принадлежит зоне дерново-подзолистых легких супесчаных и песчаных почв.

Большая часть бассейна представлена дерново-подзолистыми почвами, часто встречаются также серые лесные и смытые почвы оврагов и балок (см. табл. 1), эти почвы образуют различные почвенные комбинации, поэтому почвенный покров характеризуется контрастностью.

Природные условия в бассейнах определяют структуру землепользования и продуктивность угодий.

Табл. 1. Почвенный покров бассейнов рек Колокши и Пекши

Показатель	Бассейн р. Колокша	Бассейн р. Пекша
Площади почв, км <sup>2</sup> :		
Аллювиальные	102	81
Дерново-подзолистые и подзолистые	147	647
Серые лесные	775	205
Дерновые	5	9
Торфянисто-подзолистые	-	11
Болотные	6	15
Смытые и намывные	439	128

### Материалы и методы

Для оценки показателей продукционного потенциала почв использовались различные информационные данные:

- космические данные с ИСЗ: «Метеор», аппаратура МСУ-Э, пространственное разрешение 45 м, 3 спектральных канала (1 зеленый (0,5 - 0,6 мкм), 2 красных (0,6 - 0,7 мкм), 3 бл.ИК – (0,8 - 0,9 мкм)), 28 августа 2004 год;

- «Landsat» ETM+, выбраны 4 спектральных канала, пространственное разрешение 30 м (1 синий (0,45 – 0,52 мкм), 2 зеленых (0,52 – 0,60 мкм), 3 красных (0,63 - 0,69 мкм), 4 бл ИК (0,76 – 0,90 мкм), 30 июня 2001 год;

- электронные карты на территорию Владимирской области: топографическая карта (1:200000), почвенная карта (1:200000), карта структуры землепользования (1:50000);

- статистические и литературные данные, характеризующие ландшафтную структуру территории, запасы фитомассы и продуктивность растительного покрова.

Для цифровой обработки космических изображений использована программа Erdas Imagine. Анализ картографического материала и результатов дешифрирования проведен на основе программы Arc View; статистическая обработка и подготовка баз данных осуществлялась программой Excel [5].

Классификация объектов проводилась методом ISODATA (кластерный анализ) без обучения, а дальнейшая идентификация выделенных классов - путем анализа спектральных кривых и анализа преобразований спектральных яркостей с использованием линейных и дробных комбинаций (вегетационные индексы). Данные методики позволили выделить основные природные и антропогенные объекты на изучаемой территории, оценить состояние растительности и почвенного покрова [1, 3, 4].

Для расчета показателей продуктивности экосистем использованы определенные в результате дешифрирования площади различных угодий и справочные данные по удельной продуктивности и запасам фитомассы угодий для данной территории [2, 6]. Суммарная продуктивность экосистемы рассчитывалась как сумма продуктивностей угодий, входящих в ее состав:  $P_3 = \sum S_{уг} P_{уд. уг.}$ , где  $P_3$  – суммарная продуктивность экосистемы;  $S_{уг}$  – площадь угодья;  $P_{уд. уг.}$  – удельная продуктивность угодья. Аналогично проводился расчет фитомассы.

## Результаты и их обсуждение

## Цифровая обработка космических изображений

Исходное изображение бассейнов р. Пекша и Колокша подвергалось предварительной обработке, включающей геометрическую и радиометрическую коррекцию, трансформирование в географическую проекцию.

Классификация объектов осуществлялась методом ISODATA (кластерный анализ) без обучения. При классификации для более точного разделения объектов эмпирически задавалось 40 классов. В результате анализа была сформирована кластерная схема и таблица статистик, в которой представлены средние значения кластеров (классов), используемых для получения спектральных кривых объектов.

Затем осуществлялись идентификация выделенных классов и объединение их в более крупные группировки путем анализа спектральных кривых, а также анализ преобразований спектральных яркостей (СЯ) с использованием линейных и дробных комбинаций (вегетационных индексов).

Спектральные кривые отражения характеризуют отражательную способность объектов в разных зонах спектра и являются одними из важнейших дешифровочных признаков природных и антропогенных объектов [3] (рис. 1).

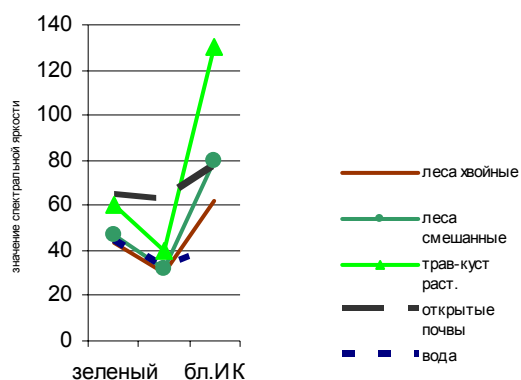


Рис. 1. Типичные кривые спектральных яркостей природных и антропогенных объектов (Landsat ETM) (1 зеленый (0,52 – 0,60 мкм), 2 красных (0,63 – 0,69 мкм), 3 бл. ИК (0,76 – 0,90 мкм))

Анализ преобразований спектральных яркостей позволяет выделять и оценивать состояние растительного покрова на основе линейных и дробных комбинаций спектральных каналов. Их использование обусловлено различиями в спектральной отражательной способности растительности и почв, а также разным состоянием и плотностью растительного покрова [8]. График, построенный по разностям спектральных яркостей трех каналов (1-2)/(3-2), имеет форму треугольника (рис. 2).

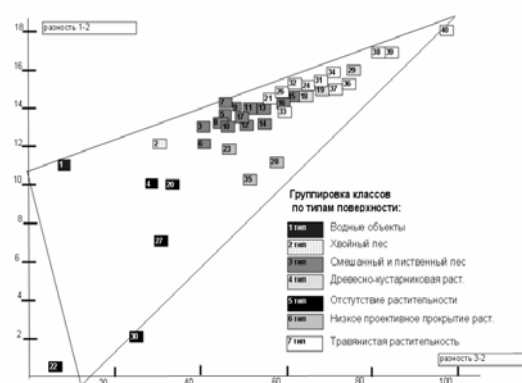


Рис. 2. Группировка классов по спектральным разностям между каналами: 1 зеленый (0,52 – 0,60 мкм), 2 красных (0,63 – 0,69 мкм), 3 бл. ИК (0,76 – 0,90 мкм)

В основании расположены кластеры, относящиеся к водным объектам и открытым почвам. По правому бедру треугольника в порядке возрастания плотности растительности располагаются параметры, характеризующие открытые участки и частично покрытые растительностью территории; по левой стороне – кластеры, соответствующие залесенным ландшафтам (от сосновых к смешанным лесам). Внутри треугольника сгруппировались кластеры, соответствующие древесной поросли и травянисто-кустарниковой растительности, к вершине приурочены кластеры с травянистой растительностью с плотным покровом и хорошей вегетацией.

Таким образом, метод вегетационных индексов позволяет получать количественные оценки проективного покрытия почвы растительностью.

Кроме анализа растительного покрова вегетационные индексы информативны для характеристики минералогического состава почв и пород [1]. Для анализа нами выбран вегетационный индекс нормализованной разности NDVI как наиболее устойчивый к изменению высоты солнца над горизонтом, состояния атмосферы и типу датчика [5]. NDVI рассчитывается по формуле

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R),$$

где IR – среднее значение коэффициента отражения объекта в ближнем ИК-канале; R – среднее значение коэффициента отражения объекта в красном канале.

Расчитанные значения вегетационного индекса представлены на рис. 3.

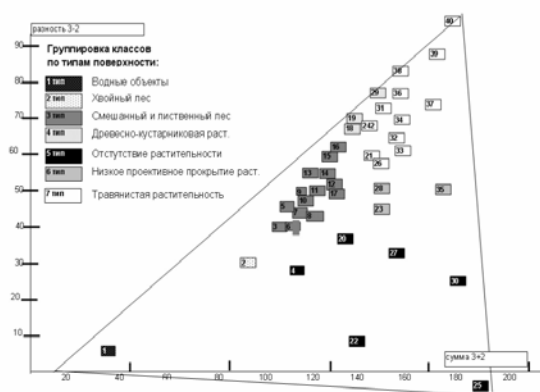


Рис. 3. Вегетационный индекс нормализованной разности NDVI (2 канал красных (0,63 – 0,69мкм), 3 канал бл. ИК (0,76 – 0,90 мкм))

График показывает хорошее разграничение классов, отличающихся различными типами растительности, а также поверхностей, лишенных растительного покрова. Крайние верхние точки соответствуют изображениям с наиболее плотным растительным покровом.

Анализ указанных характеристик позволил выделить на исследуемой территории основные типы изображений почвенно-растительного покрова, что представлено на рис.2, 3.

### **Оценка запасов фитомассы и состояния растительности и почвенного покрова по результатам цифровой обработки снимков**

По результатам дешифрирования космических снимков были составлены карты структуры землепользования речных бассейнов, которые затем использовались для расчетов площадей, занятых различными угодьями и *показателей продуктивности и запасов фитомассы экосистем речных бассейнов*. Для построения этих карт требуется дополнительная корректировка автоматизированной обработки информации, поскольку в одни и те же кластеры могут попадать объекты, относящиеся к разным категориям в структуре землепользования (например, открытые участки почв могли принадлежать городским территориям и сельскохозяйственным угодьям) [9].

Результаты расчетов, выполненных с использованием карт структуры землепользования речных бассейнов позволяют провести сравнительную характеристику двух речных бассейнов (табл. 2).

Так, оба бассейна подвергаются значительной антропогенной нагрузке (в основном это сельскохозяйственное использование). Пахотные угодья занимают в бассейне реки Колокши 54 % территории, в бассейне Пекши – 28 %. В целом бассейн Колокши интенсивно используется в сельскохозяйственном производстве, и на долю естественных экосистем там приходится только 45 % территории, тогда как в бассейне реки Пекши такие экосистемы составляют около 70 % территории. Показатели продуктивности и запасов фитомассы естественных угодий речных бассейнов представлены в табл. 2.

Табл. 2. Структура землепользования, запас фитомассы и продуктивность бассейнов рек Колокша и Пекша по данным космической съемки

	Площадь, га	Пло- щадь, %	Фито- масса, тыс. т	Про- дукция, тыс. т/га в год
<b>КОЛОКША</b>				
Леса	32123.8	22.5	6746.00	337.30
Луга	30870.2	21.6	453.79	509.36
Пахотные угодья	76308	53.5		
Водные объекты	536.3	0.4		
Болота		0.0		
Населенные пункты, дороги и пр.	2844.3	2.0		
<b>Всего</b>	<b>142682.6</b>	<b>100.0</b>	<b>7199.79</b>	<b>846.66</b>
В том числе естественные экосистемы	63530.3	44.5		
<i>Удельная фитомасса естественных экосистем, т/га</i>				<i>113.33</i>
<i>Удельная продукция естественных экосистем, т/га в год</i>				<i>13.33</i>
<i>Удельная фитомасса бассейна, т/га</i>				<i>50.46</i>
<i>Удельная продукция бассейна, т/га в год</i>				<i>5.93</i>
<b>ПЕКША</b>				
Леса	52185	49.0	10958.85	547.94
Луга	18575	17.4	273.05	306.49
Пахотные угодья	30130	28.3		
Водные объекты	700	0.7		
Болота	700	0.7	32.20	2.31
Населенные пункты, дороги и пр.	4210	4.0		
<b>Всего</b>	<b>106500</b>	<b>100.0</b>	<b>11264.10</b>	<b>856.74</b>
В том числе естественные экосистемы	72160	67.8		
<i>Удельная фитомасса естественных экосистем, т/га</i>				<i>156.10</i>
<i>Удельная продукция естественных экосистем, т/га в год</i>				<i>11.87</i>
<i>Удельная фитомасса бассейна, т/га</i>				<i>105.77</i>
<i>удельная продукция бассейна, т/га в год</i>				<i>8.04</i>

Бассейн Пекши характеризуется большим абсолютным запасом фитомассы и большей удельной фитомассой, так как на его территории значительную площадь занимают леса. В то же время суммарные показатели продуктивности естественных экосистем этих бассейнов примерно одинаковые, однако продуктивность на единицу площади больше в бассейне Колокши, так как здесь доминируют травянисто-кустарниковая растительность, обладающая высокой продуктивностью, и наиболее плодородные в данной зоне серые лесные почвы.

Пересчет анализируемых показателей на единицу общей площади речных бассейнов (с учетом как естественных, так и антропогенных экосистем) показал, что в бассейне Колокши удельные показатели фитомассы и продукции существенно ниже, чем на территории бассейна Пекши, что свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке, которую испытывает этот бассейн.

Для *оценки состояния растительности и продукционного потенциала* был использован индекс NDVI, который рассчитан по имеющимся данным дистанционного зондирования. Некоторые его значения для анализируемой территории представлены в табл. 3. Для сравнения состояния растительного покрова на территории двух бассейнов сопоставим данные по значениям NDVI, полученным на один момент времени.

Для характеристики растительного покрова нами были отобраны показатели NDVI для кластеров, относящихся к разным видам растительности: хвойные леса, смешанные леса, травянистая растительность с максимальной степенью проективного покрытия. Для всех указанных видов растительного покрова индекс больше на территории бассейна Колокши, кроме того, кластеры с максимальными для данной территории значениями вегетационного индекса находятся также на территории бассейна реки Колокши. Следовательно, здесь лучше

состояние растительности, больше содержание хлорофилла, а более продуктивными являются серые лесные почвы, занимающие значительную часть этого бассейна. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах бассейна Пекши состояние растительности по показателю NDVI несколько хуже.

Общий вегетационный индекс для бассейна реки Колокши меньше, чем для бассейна Пекши, однако данный показатель не является характеристикой растительного покрова, поскольку при его расчете учитываются все кластеры, в том числе и не занятые растительностью. Данный показатель в бассейне Колокши оказывается меньшим, поскольку здесь значительные площади открытых, не занятых растительностью почв.

Табл. 3. Вегетационные индексы некоторых угодий бассейнов рек Пекша и Колокша

	Бассейн Пекши, 30 июня 2001 год		Бассейн Колокши, 30 июня 2001 год	
	NDVI	% площади от всего бассейна	NDVI	% площади от всего бассейна
<b>В среднем по речному бассейну</b>	0.41	100	0.39	100
<b>NDVI угодий</b>				
Леса. В том числе:	0.43	49	0.45	20
Хвойные	0.32	8	0.34	5
Смешанные и лиственные	0.45	41	0.48	15
Травянистая растительность с высокой степенью проективного покрытия, с/х угодья	0.54	8	0.57	10
Максимальное значение травянистой растительности	0.56	3	0.59	3

*Состояние почвенного покрова* можно также частично оценить, выделив кластеры, относящиеся к открытым почвам пахотных

угодий (рис. 4), при этом необходимо учитывать, что большая часть почвенного покрова занята растительностью и открытые почвы характеризуют лишь локальные участки, а не весь почвенный покров территории.

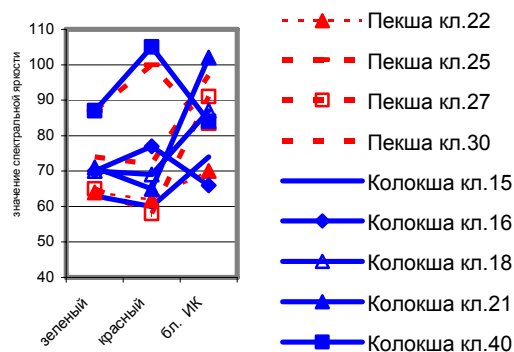


Рис. 4. Спектральные кривые отражения кластеров открытых почв бассейнов рек Колокши и Пекши (кластеры 16, 30, 40 характеризуют сильно эродированные почвы)

Очевидно, что низкие значения спектральной яркости могут свидетельствовать о повышенном содержании гумуса или влаги в почве. Поскольку снимки получены в один момент времени, содержание влаги в почве двух бассейнов можно считать одинаковым, следовательно, различия между кластерами обусловлены состоянием почв, в частности, гумусированностью.

Кривые, характеризующие почвенный покров в обоих речных бассейнах, расположены приблизительно на одном уровне. Более светлые участки маркируют дерново-подзолистые или смытые почвы (их спектральная отражательная способность выше и кривые проходят выше); более темные (их кривые отражения лежат ниже) - серые лесные почвы, содержащие большее количество гумуса.

Спектральные кривые отражения, имеющие максимум в красной зоне спектра, отнесены к сильноэродированным, площадь таких участков больше в бассейне реки Колокши.



### Выводы

Выполнена оценка экологического состояния территорий двух речных бассейнов малых рек, являющихся притоками реки Клязьма, с использованием автоматизированных методов обработки данных дистанционного зондирования. Для цифровой обработки изображения использована программа *Erdas Imagine*.

Показано, что классификация объектов методом ISODATA (кластерный анализ) без обучения, а также дальнейшая идентификация выделенных классов путем анализа спектральных кривых и анализа преобразований спектральных яркостей с использованием линейных и дробных комбинаций (вегетационные индексы) позволяют выделять по снимкам объекты различного землепользования и оценивать состояние растительности и почвенного покрова, что позволяет в дальнейшем рассчитывать запасы фитомассы и продуктивности экосистем.

Установлено, что бассейн реки Колокши характеризуется более высоким продукционным потенциалом, на его территории больше прирост фитомассы на единицу площади и выше значения NDVI растительности по сравнению с бассейном реки Пекши. В бассейне реки Пекши большой запас фитомассы, которая накапливается лесными массивами, но меньше показатель биологической продуктивности. Территория бассейна реки Колокши подвергается большей антропогенной нагрузке, и ее почвы более подвержены эрозионным процессам по сравнению с бассейном реки Пекши.

### Литература

1. Асмус, В. В., Щербенко, Е. В. Использование комбинаций спектрофотометрических измерений для оценки растительности

и почв/ В.В. Асмус, Е.В. Щербенко // Обнинск: Информ. центр ВНИИГМИ – МЦД, 1989. – 60 с.

2. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993. – 293 с.

3. Королук, Т. В., Щербенко, Е. В. Распознавание почвенного покрова лесостепных ландшафтов по материалам разносезонной многозональной съемки // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 275 – 288.

4. Рачкулик, В. И., Ситникова, М. В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 287 с.

5. Трифонова, Т. А., Мищенко, Н.В., Краснощеков, А. Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М. : Академ. проект, 2005. – 352 с.

6. Трифонова, Т. А., Мищенко, Н. В. Сравнительный анализ структуры землепользования различных природно-территориальных комплексов // Почвоведение. – 2002. – № 12. – С. 1479 – 1487.

7. Шахраманьян, М. А. Новые информационные технологии в задачах обеспечения национальной безопасности России. – М. : ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2003. – 398 с.

8. Trifonova T., Mishchenko N., Shcherbenko E. Remote sensing for land use structure and natural and antropogenic ecosystems productivity assessment/ Second Workshop of the EARSel SIGon Remote Sensing of Land Use and Land Cover Bonn, 28-30 September, 2006. P. 125.

9. Xiaojun Yang, Zhi Liu. Using satellite and GIS for land-use and land-cover change mapping in an estuarine watersheds//International journal of remote sensing. – Vol. 26. – № 23. – 2005. – P. 5275 - 5296.

И.Н. Егоров

## ПОЗИЦИОННО-СИЛОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ И МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Управление робототехническими и мехатронными системами (РТС) многофункционального назначения при выполнении разнородных технологических операций в неструктурированной внешней среде при действии на рабочий орган (РО) голономных и неголономных связей, сил трения и упругих деформаций, а также активных сил требует создания принципиально новых алгоритмов и систем управления.

Наиболее эффективным способом управления состоянием и сменой состояния нелинейной динамической системы «РО - объект работ (ОР)» в условиях неопределенности и нестационарности позиционно-силового взаимодействия РО с ОР при существенном изменении работы  $A_0$  и мощности  $N_0$  как меры этого взаимодействия является позиционно-силовое управление (ПСУ) [1 – 6]. На основе решения обратных задач динамики возможна организация ПСУ по относительным координатам степеней подвижностей (СП) исполнительного устройства (ИУ) или (и), например, при адаптивной кинематике, комбинированное управление в абсолютной и относительной системе координат.

С точки зрения взаимодействия алгоритмов управления по  $S \wedge \dot{S}^{\&}$  и по  $F$  предложено представлять ПСУ в виде независимого несвязанного (раздельного), согласованного (несвязанного и связанного) и комбинированного (гибридного) управления. При независимом ПСУ многомерным ИУ одни степени подвижности управляются по  $S \wedge \dot{S}^{\&}$ , а другие СП по  $F$ ; независимом ПСУ одностепенным ИУ интервалы времени управления по  $S \wedge \dot{S}^{\&}$  и  $F$  не совпадают, т.е. в каждый момент времени управляемая координата только одна; согласованном ПСУ – осуществляется зависимое не-

связанное или связанное регулирование одновременно по  $S \wedge \dot{S}^{\&}$  и  $F$ . Комбинированное (связанное, гибридное) ПСУ понимается как сочетание согласованного и независимого управлений. В работах Н. Asada, М. Вукобратовича, Е.А. Девянина, N. Hogan, А. Kazeroni, Ф. М. Кулакова, Lu S. S., Ю.В. Подураева, Т. Yoshikawa и других авторов аналогичные виды управлений соответственно получили название импедансного (impedance control), позиционно-силового (position / force control), силового (force control), гибридного ПСУ (hybrid position / force control), параллельного ПСУ (parallel position / force control) и гибридно-импедансного управления (hybrid-impedance control).

Ограничения на переменные состояния РТС, изменение структуры сингулярных возмущений в виде геометрических связей, сочетание в одной технологической операции вспомогательных переходов со «свободным» ОР и технологических переходов со связанным объектом нарушает непрерывность процесса ПСУ, делая его принципиально разрывным управлением, реализуемым в классе логических систем с явным или неявным изменением структуры. В зависимости от способа управления системы ПСУ подразделяются на системы одно (ОСД) и двустороннего (ДСД) действия с автоматическим, дистанционным и дистанционно-автоматическим модальным, робастным, адаптивным и интеллектуальным управлением. Организация прямых, обратных и перекрестных силовых связей осуществляется с помощью системы силомоментного оцувствления (СМО), состоящей из силомоментных датчиков или (и) наблюдателей силы.

Системы независимого управления реализуются в классе прямого разрывного логического управления с использованием режима устойчивых переключений. Если исполнительное устройство РТС не имеет конструктивного разделения по СП, то алгоритм формирования вектора управления основан на ортогональной декомпозиции пространства задания с помощью селективной диагональной матрицы  $D$ , вырождающейся в единичную и нулевую матрицы соответственно при силовом и позиционном управлении. В зависимости от характера взаимодействия с внешней средой интеллектуальный контроллер формирует элементы матрицы  $D$  и подстраивает параметры системы. Множество систем независимого ПСУ включает в себя системы, обеспечивающие: регулирование  $F_o \wedge S \wedge \dot{S} \wedge \ddot{S}$  и контроль и дозирование  $F_o \vee \wedge (S_o \vee \wedge \dot{S}_o \wedge \ddot{S}_o)$ ; регулирование  $F_o \vee \wedge (S_o \vee \wedge \dot{S}_o \wedge \ddot{S}_o)$  со стабилизацией  $A_o \vee \wedge N_o$ , в т.ч. с вычислением задающих сигналов  $F_o, S_o, \dot{S}_o, \ddot{S}_o$  и двухзонное регулирование различных вариантов [5–8].

Организация скользящего режима или увеличение частоты переключения каналов управления приводит к вырождению системы с независимым управлением  $F$  и  $S$  в систему согласованного (координированного) управления  $F$  и  $S$ , теряя при этом свойство «естественной» инвариантности систем с переменной структурой.

Целью согласованного ПСУ является координирующее управление посредством регулирования параметров, определяющих соотношение между траекторными координатами  $S, \dot{S}, \ddot{S}$  и силой  $F = [F : M]^T$  действием своего рода управляемых связей. Одна из основных проблем при этом – определение доминирующей координаты как в случае автоматического, дистанционного, так и дистанционно-автоматического управления.

Если при выполнении технологической операции со связанным объектом необходимо соблюдение (идентификация) геометрической формы поверхности или решение задачи регулирования сил взаимодействия РО с ОР с учетом кинематических параметров процесса взаимодействия, то применяется согласованное ПСУ, соответственно, с позиционным (адаптацией в канале управления  $S$ ) или силовым доминированием (адаптацией в канале управления  $F$ ) [5, 8]. Переход от одного канала управления к другому осуществляется программным путем или (и) на основе информации о взаимодействии РО с ОР.

В классе согласованного ПСУ с позиционным или силовым доминированием также возможна реализация двухзонного зависимого и независимого управления. В первой зоне, например, осуществляется силовое управление или позиционное управление с  $F = \text{const}$ , а во второй зоне – силовое или позиционное управление при  $(A_o = \text{const}) \vee \wedge (N_o = \text{const})$ .

При свободном движении РО позиционно-силовое управление применяется для декомпозиции системы управления и пространства состояний, компенсации динамического взаимовлияния СП посредством глобального управления, моментной разгрузки ИУ, юстировки зеркал системы транспортировки излучения лазер-роботов и непосредственного управления технологическим процессом бесконтактной обработки.

Управление технологическим процессом, в общем случае, – координатно-параметрическое управление. Например, при лазерной обработке процесс перемещения оптической головки (ОГ) вдоль траектории обработки, фокусировки луча, отклонения оси луча относительно оси стыка свариваемых изделий и нормали к обрабатываемой поверхности можно назвать объектом координатного управления, а с точки зрения процесса управления – изменением технологических

параметров обработки. Его можно определить как объект параметрического управления. Координатное управление в абсолютных и относительных координатах при наличии контактного щупа и силомоментного очувствления реализуется в виде ПСУ.

Если пассивный манипулятор М2 двухманипуляционного ИУ не совмещен с манипулятором М1, то при позиционном управлении М1 применяется пассивное позиционно-силовое управление М2, реализуемое с помощью тормозных муфт, установленных в его степенях подвижности. При активном М2 с СМО координированное управление движением М1 и М2 взаимосвязанных через РО реализуется в виде многомерного согласованного (импедансного) ПСУ на основе вычисленных шарнирных моментов или комбинированное (гибридное) управление, предусматривающее позиционное управление движением М1 по заданной траектории и согласованное (импедансное) ПСУ компенсацией возникающих в М2 сил взаимодействия [7, 8].

Алгоритм управления несомещенными манипуляторами двухманипуляционного ИУ работа может быть построен на основе линеаризации и декомпозиции математического описания данного ИУ робота с помощью метода введения нелинейной обратной связи и нелинейного преобразования переменных состояния, предложенного в работах А.К. Wejczy, Т.У. Tarn, Х. Yun.

Структура системы управления движением РО робота с СМО включает в себя: блоки планирования, преобразования координат, оптимальной коррекции; генератор команд; нелинейную обратную связь; объект управления – двухманипуляционное ИУ робота с СМО.

Блок планирования по исходному заданию формирует траекторию в пространстве задания. Блок генератора команд формирует эталонный входной сигнал  $V_0$ . Блок преобразования координат формирует обобщен-

ные координаты  $q_i$  и их производные по измеряемым значениям положений и скоростей движения в степенях подвижности ИУ. Блок нелинейной обратной связи вычисляет управляющие обобщенные силы  $F_{0i}$  поступающие на двухманипуляционное ИУ робота и соответствующие  $q_i$ .

Измеренные значения сил и моментов  $F_{0i}$  представляются как  $F_0(x, u) = \alpha(x) + \beta(x)u$ , где  $x$  – вектор состояния,  $u$  – вектор управляющих напряжений,  $\alpha(x)$  и  $\beta(x)$  – определяются двумя алгебраическими уравнениями функции  $X$ .

Для стабилизации системы и оптимальной коррекции ошибок вводится обратная связь с постоянными коэффициентами вида  $U_i = -k_i z_i + v_{ki}$ .

Здесь  $v_{ki} = -R^{-1} B_i^T P(t) e_i(t)$  – оптимальная коррекция, где  $R$  – положительно определенная матрица,  $P(t)$  – положительно определенная матрица решения уравнения Рикатти.

В качестве выхода системы рассматривается положение (ориентация) РО

$$y = h(x_1) = [h_1(x_1), h_2(x_1), \dots, h_n(x_1)]^T,$$

где  $x_1 = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ .

Использование нелинейного преобразования координат  $\varphi(x) = [h_1 Lf h_1, h_2 Lf h_2, \dots, h_n Lf h_n]^T$ , где  $Lf h_i$  – производная ЛИ  $h_i$  вдоль  $f$  и нелинейной обратной связи преобразует систему с выходом  $y$  в линейную развязанную систему вида

$$\begin{cases} \dot{Z} = AZ + BU; \\ y = CZ, \end{cases}$$

где  $A, B, C$  – диагональные матрицы,  $Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_n]^T$ ,  $U = [U_1, U_2, \dots, U_n]^T$ ,  $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ .

Другим видом систем координированного управления как не совмещенными так и совмещенными двухманипуляционными ИУ

роботов являются системы с динамическим координатором (корректором), рассмотренными в работах S. Ahmad, H. Guo, и позиционно-силовыми регуляторами.

Задача управления подобными манипуляционными системами решается иерархическими системами управления. На высшем уровне управления с помощью координатора осуществляется координация действий ИУ робота. Координатор формирует номинальное разомкнутое или замкнутое глобальной силовой и технологической обратной связью управление, может быть дополнен супервизором, который компенсирует отклонения от номинальной траектории, не отработанные локальными регуляторами.

Координирующее управление функциональным движением двухманипуляционной исполнительной системы технологического робота реализуется в виде согласованного ПСУ посредством регулирования параметров, определяющих соотношение между их траекторными координатами  $S, \dot{S}$  и силой  $F = [F; M]^T$ . Если при выполнении технологической операции необходимо соблюдение или идентификация геометрической формы, то применяется согласованное ПСУ с позиционным доминированием и аддитивной или (и) мультипликативной корректирующей силовой связью.

С точки зрения реализации системы ПСУ взаимосвязанные манипуляторы двухманипуляционных ИУ технологических роботов могут быть построены на принципах систем одно – (ОСД) и двустороннего (ДСД) действия с автоматическим, дистанционным и дистанционно-автоматическим управлением [1, 2]. В качестве «задающего устройства» систем ПСУ, построенных по принципу несимметричных следящих систем ДСД, используются приводы ведущего манипулятора с силовыми обратными связями. Приводы ведомого манипулятора, играющего роль «исполнительного устройства», в этом слу-

чае охвачены отрицательными обратными связями по положению или скорости. Глобальная обратная связь – силовая обратная связь. При построении систем ПСУ по принципу симметричных следящих систем ДСД приводы ведущего и ведомого манипуляторов охвачены обратными связями по положению. Глобальная обратная связь – обратная связь по положению ведомого манипулятора.

Другой пример системы ПСУ – система с оптимальным динамическим корректором и нелинейной обратной связью для координирующего управления М1 и М2 технологического робота, представленная на рис. 1.

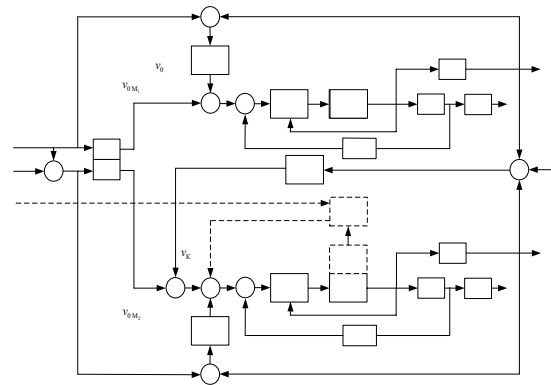


Рис. 1. Система управления лазер-роботом с оптимальным динамическим корректором и нелинейными обратными связями:  $y_0$  – желаемая геометрическая траектория;  $d$  – смещение;  $F_0$  – желаемая контактная сила на кисти робота; 1, 2 – линейные математические модели манипуляторов М1 и М2; 3 – блок оптимальной коррекции ошибок; 4 – блок нелинейной обратной связи; 5 – блок оптимальной коррекции контактной силы; 6 – датчик силы М2; 7 – оптимальный динамический корректор

Если М1 является ведущим, а М2 – ведомым, то задача заключается в том, чтобы синтезировать для М1 обратную связь, обеспечивающую его движение по заданной тра-

ектории, и сформировать оптимальный координатор, обеспечивающий слежение М2 за М1 с заданным вектором смещения.

Ошибки относительного положения двух манипуляторов, компенсируемые оптимальным корректором, представляются в виде:  $e(t) = y_{M1}(t) - y_{M2}(t) - d$ , где  $y_{M1}, y_{M2}$  – векторы положения конечной точки М1 и М2 в декартовой системе координат;  $d = [d_1, \dots, d_6]^T$  – вектор смещения матриц М1 и М2.

Наилучшее качество управления в условиях неопределенности геометрии поверхности объекта обработки достигается применением комбинированных (дистанционно-автоматических) [2, 3] систем, сочетающих в себе принципы сенсорного программирования и адаптивного управления с естественным интеллектом в функции текущего состояния внешней среды.

Например, автоматическая стабилизация положения в пространстве кистевого узла М2 с ОГ существенно упрощает режим дистанционного управления лазер-роботом. При дистанционном управлении перемещением ОГ в момент появления сигнала с датчиков зазора  $\Delta$  БИС на основании алгоритма согласованного ПСУ [2, 3, 5, 8] переключает структуру системы на автоматическое управление поддержанием заданного зазора и ортогональной ориентации оси лазерной головки к обрабатываемой поверхности (рис. 2.).

При организации автоматического управления движением ОГ с линейной интерполяцией по методу оценочной функции первоначально осуществляется установочное перемещение по вертикальной оси Z. При оптимальной величине зазора организуется качание ОГ в плоскости ОХУ до достижения равенства сигналов попарно перпендикулярных датчиков зазора, т.е. ортогональной установки ОГ относительно поверхности обработки. В режиме супервизорного управления и обучения робот пытается

скорректировать траекторию движения на основе невязки между запрограммированными и текущими значениями сил и моментов, а человек-оператор посредством задающего устройства осуществляет необходимое корректирующее воздействие

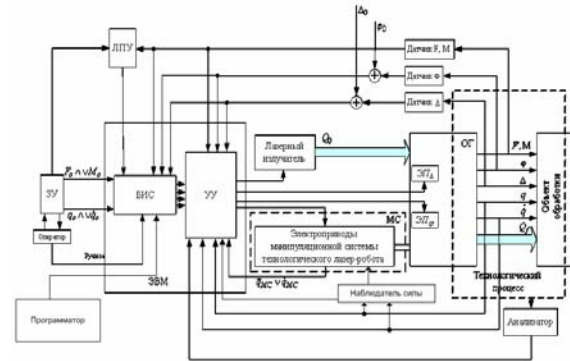


Рис. 2. Структура дистанционно-автоматического управления лазер-роботом: ЗУ – задающее устройство; БИС – блок изменения структуры; ЛПУ – логическое переключающее устройство; УУ – устройство управления

В общем случае, когда позиционно-силовое взаимодействие характеризуется нестационарностью и неполнозаданностью, ПСУ носит характер адаптивного, интеллектуального и в то же время комбинированного (гибридного) управления, представляющего собой сочетание независимого и согласованного управлений. Независимое (раздельное) ПСУ с явным переключением структуры применяется при существенном различии позиционного и силового компонент взаимодействия РО с ОР. При нечетком различии этих компонент, что характерно для обработки в зоне малых перемещений, малых припусков и прерывистых контуров, осуществляется двухканальное согласованное ПСУ с неявным переключением структуры. Прямой и обратный переход от одного управления к другому осуществляется с помощью логических законов управления.

Неопределенность или неполнозаданность позиционно-силового взаимодействия РО с ОР приводит к необходимости применения ПСУ, основанного на идеях адаптивного оптимального управления с переменным порядком наблюдателя и временем экстраполяции, бинарного, робастного и интеллектуального управления [9,10]. Подобные системы ПСУ позволяют, в частности, решить проблему обучения в условиях неопределенности, в т.ч. создания базы знаний на основе применения позиционно-силового программирования, заключающегося в одновременном задании требуемых сил и траекторий. Это в конечном итоге приводит к возможности разработки стратегии отслеживания перемещения РО по поверхности ОР в режиме самообучения, основываясь на ее идентификации, идеях адаптивного полуавтоматического ПСУ и нечетких алгоритмов адаптации.

Основные результаты по теории ПСУ, полученные в университете, защищены более чем 30 авторскими свидетельствами, опубликованы в трех монографиях, двух учебных пособиях, центральных журналах и трудах конференций по экстремальной робототехнике, мехатронике и проблемам управления.

### Литература

1. *Егоров, И. Н.* Проектирование следящих систем двустороннего действия / И. Н. Егоров [и др.]; под ред. В.С. Кулешова – М. : Машиностроение, 1980. – 300 с.
2. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы/ под ред. В.С. Кулешова, Н.А. Лакоты. – М. : Машиностроение, 1986. – 328 с.
3. Remotely Controlled Robots and Manipulators. – М. : MIR, 1988. – 330 p.
4. *Egorov I.* Control and executive systems of assembly Robots for flexible Manufacturing / Preprints V IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium. Information control problems in manufacturing technology. Robotics and flexible manufacturing systems. 1986.
5. *Егоров, И.Н.* Системы позиционно-силового управления технологическими роботами. Мехатроника, автоматизация и управление. – № 11. – 2003.
6. *Егоров, И. Н., Немонтов, В. А.* Управление робототехнической системой подачи тепловыделяющих сборок. Мехатроника, автоматизация, управление. – № 4. – 2004.
7. *Егоров, И. Н., Умнов, В. П.* Принципы построения и управления манипуляционных систем лазер-роботов. Мехатроника, автоматизация, управление. – № 11. – 2004.
8. Управление робототехническими системами с силомоментным осязанием: учеб. пособие/ под ред. проф. И.Н.Егорова. – Владимир. : ВлГУ, 2005. – 263 с.
9. *Егоров, И. Н., Матлуб, М. М.* Управление манипуляционными роботами на основе алгоритмов позиционно-силового управления и визуального восстановления помех движения/ материалы 2-й мультikonф. по проблемам упр. – СПб., 2008.
10. *Егоров, И. Н, Хусейн Казым, Т.* Структуры систем управления платформы Стюарта пусковых установок беспилотных летательных аппаратов/ материалы 2-й мультikonф. по проблемам упр. – СПб., 2008.

А.А. Кобзев

### ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТОЙ ФОРМЫ ИНВАРИАНТНОСТИ

Повышение точности технологических процессов в машиностроении приводит к необходимости повышения точности технологического оборудования. Требование повышения точности приводит к более тщательному учету особенностей конструкции объекта управления и всех элементов системы автоматического управления (САУ). Прежде всего это относится к станкам с ЧПУ и промышленным роботам. В военной технике это системы слежения за подвижными объектами: радиолокаторы и телескопы, артиллерийские и зенитные пусковые установки. Рассматривается два перспективных подхода построения и повышения точности САУ: 1) на основе принципа вложенных контуров; 2) введением параллельной прогнозируемой модели.

**Многокоординатные САУ с построением структуры по принципу вложенных контуров** [1 – 4]. Цель управления – перемещение объекта управления по заданной траектории при действии возмущений со стороны объекта или выполняемого технологического процесса. При этом следует парировать внешние межкоординатные возмущения, обусловленные динамическими нагрузками со стороны объекта или выполняемого технологического процесса. Структурная схема трехкоординатной системы приведена на рис. 1. Суть принципа состоит в том, что сначала производится ранжирование контуров. Далее в первом, младшем контуре, выделяется моментная ошибка, и вводится в виде дополнительной составляющей в управляющее воздействие привода второй координаты. Аналогично ошибка второго контура подается в третий. Общую задачу управления на основе четвертой формы инвариантности, которая впервые

была поставлена в работах А.Г. Ивахненко, М.Б. Игнатъева [5] и Б.И. Андрейчикова [6], сформулируем здесь следующим образом. Имеется система с номинальным управлением  $g_0(p)$  и возмущением на выходе  $f_0(p)$ , которое обусловлено создаваемым на выходе силовым воздействием при выполнении технологического процесса.

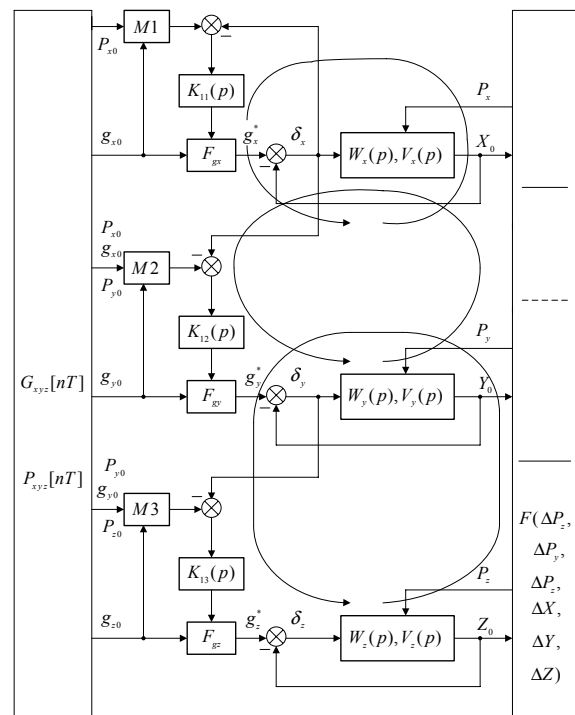


Рис. 1. Структурная схема трехкоординатной САУ

Необходимо парировать дополнительные возмущения подачей дополнительной составляющей в управляющее воздействие.

Рассмотрим возможность парирования внешних возмущений в данной структуре на основе третьей и четвертой форм инвариантности [5, 6]. Ошибка  $\delta$  каждого из сепар-



ратных определяется через передаточные функции в виде

$$\delta(p) = \frac{1}{1+W(p)} g(p) + \frac{V(p)}{1+W(p)} f(p),$$

где:  $W(p) = \frac{A(p)}{B(p)}, V(p) = \frac{C(p)}{D(p)}$ .

С учетом соответствующих полиномов, определяющих  $W(p)$ ,  $V(p)$ , и обозначения  $C(p)/D(p) = Cd(p)$

$$\delta(p) = \frac{B(p)}{A(p)+B(p)} g(p) + \frac{B(p)Cd(p)}{A(p)+B(p)} f(p)$$

или в строчной форме записи

$$H(p)\delta(p) = B(p)g(p) + L(p)f(p),$$

где:  $H(p) = A(p) + B(p); L(p) = B(p) + Cd(p)$ .

Рассмотрение трехкоординатной системы достаточно громоздко. Поэтому для наглядности в описании и работе настоящей структуры обратимся к двухкоординатной системе в плоскости  $XZ$  [1, 2]. Изображение ошибок в каналах исходных приводов определяется из выражений

$$\begin{aligned} H_x(p)\delta_x(p) &= B_x(p)g_{xz}(p) + L_x(p)f_{xz}(p) \\ H_z(p)\delta_z(p) &= B_z(p)g_{zx}(p) + L_z(p)f_{zx}(p), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $g_{xz}(p)$ ,  $g_{zx}(p)$ ,  $f_{xz}(p)$ ,  $f_{zx}(p)$  – соответственно проекции вектора задания  $G(x,z)$  и возмущения  $F(x,z)$  в операторной форме.

С учетом отклонения вектора возмущения и введения дополнительного управления система (1) дополняется соответствующими членами и принимает вид

$$\begin{aligned} H_x(p)\delta_x(p) &= B_x(p)g_{xz}(p) + L_x(p)f_{xz}(p) + \\ &+ L_x(p)\Delta f_{xz}(p) + B_{2x}(p)\Delta g_{xz}(p); \\ H_z(p)\delta_z(p) &= B_z(p)g_{zx}(p) + L_z(p)f_{zx}(p) + \\ &+ L_z(p)\Delta f_{zx}(p) + B_{2z}(p)\Delta g_{zx}(p). \end{aligned} \quad (2)$$

Для системы (2) условие выполнения модифицированной четвертой формы инвариантности относительно дополнительных возмущений  $\Delta f_{xz}(p)$ ,  $\Delta f_{zx}(p)$  запишется как

$$\begin{aligned} L_x(p)\Delta f_{xz}(p) + B_{2x}(p)\Delta g_x(p) &= 0; \\ L_z(p)\Delta f_{zx}(p) + B_{2z}(p)\Delta g_z(p) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Адаптация управляющего воздействия младшей по рангу и следующей координаты выполняется исходя из обеспечения условий (3). Независимо от способа разложения заданной траектории на управляющие функции (независимые или параметрические) одна из координат может рассматриваться как аргумент, а другая как его функция. Здесь возможны следующие варианты коррекции управляющего для координатных приводов воздействий.

1. Введение "своих" дополнительных составляющих в каждом канале:

$$\begin{aligned} \Delta g_x(p) &= g_{x0}(p) + \Delta\delta_x K_{11}(p); \Delta g_y(p) = \\ &= g_{y0}(p) + \Delta\delta_y K_{11}(p); \\ \Delta g_z(p) &= g_{z0}(p) + \Delta\delta_z K_{11}(p). \end{aligned}$$

2. Представление многокоординатной системы как иерархической итерационной в части возникающих нерасчетных ошибок по возмущению. В отличие от традиционных итерационных систем ошибка предыдущего канала вводится не во внутренний контур привода, а в управляющее воздействие. При выбранной независимой координате-аргументе  $X$  управляющее воздействие для координат  $Y, Z$  записывается в виде

$$\begin{aligned} g_x(p) &= g_{x0}(p); g_y(p) = g_{y0}(p) + \Delta\delta_{mx} K_{12}(p); \\ g_z(p) &= g_{z0}(p) + \Delta\delta_{my} K_{23}(p). \end{aligned}$$

3. Представление многокоординатной системы как системы с вложенными внутренними контурами. Каждый предыдущий контур (или их предыдущая совокупность) принимается как настроенный, а ошибка в его канале от нерасчетного моментного возмущения подается в следующий контур. При этом последующий контур охватывается обратной связью по возмущению предыдущей координаты. Структурная схема систе-

мы может быть описана системой передаточных функций

$$\begin{aligned} V_{ocyx}(p) &= \Phi_{yx}(p)K_{12}(p); \\ V_{ocyz}(p) &= \Phi_{xy}(p)K_{13}(p); \\ \Phi_1(p) &= [\Phi_x(p), V_x(p)]; \\ \Phi_{11}(p) &= \frac{\Phi_y(p)}{1 + \Phi_y(p)V_{ocyx}(p)}; \\ \Phi_{11}(p) &= \frac{\Phi_z(p)}{1 + \Phi_z(p)V_{ocyz}(p)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формирование дополнительного управления зависит от закона изменения возмущения и является интегральной квадратичной функцией соответствующей составляющей моментной ошибки (статической  $\delta_{мс}$ , кинетической  $\delta_{мк}$ , динамической  $\delta_{мд}$ ) [2, 3]. Вид алгоритма зависит также и от закона изменения управляющего воздействия. Реализация дополнительного управления возможна двумя способами [2, 3]. Первый предусматривает формирование автономной дополнительной составляющей в управлении. Второй – вносит коррекцию в управляющее воздействие на стадии его формирования в управляющей ЭВМ.

Отличительные особенности описания структуры, построенной по принципу вложенных контуров:

1) вводится ранжирование контуров; степень ранжирования назначается по принципу последовательного, в части несущей другую, расположения координат, что определяется кинематической системой объекта;

2) ошибка по нерасчетному возмущению настраиваемого канала выделяется предыдущим каналом, причем независимо от их функциональной взаимосвязи;

3) каждый последующий координатный привод по положению охватывается по обратной связи с передаточной функцией предыдущего привода по возмущению;

4) выделенная ошибка по возмущению подается не во внутренний контур, а в управляющее воздействие в виде дополнительной составляющей;

5) моментная ошибка при этом трансформируется в дополнительную составляющую по управляющему воздействию. При этом повышается степень астатизма моментного контура привода на единицу, а статическая ошибка, обусловленная дополнительным постоянным возмущением, становится равной нулю;

6) наличие интегрирующего звена в цепи неединичной перекрестной обратной связи в свою очередь повышает порядок астатизма для этой составляющей управления еще на единицу. Однако это не изменяет свойства внутреннего контура автономного привода.

**САУ с прогнозируемой моделью [7 – 9].** Класс систем, подпадающих под такое управление – САУ, в которых регулируемая координата непосредственно не замыкается по цепи главной обратной связи. Это металлорежущие станки, в которых обратная связь замыкается по положению рабочего органа, а не по фактическому положению кромки режущего инструмента, промышленные роботы, у которых датчики положения расположены на координатных приводах. В объектах вооружения – это системы стабилизации и наведения объектов вооружения, расположенных на подвижном шасси (например система стабилизации и наведения по вертикали танковой пушки). Конструктивные особенности, определяющие и особенности САУ, состоят в том, что датчик углового положения сочленен с осью цапфы, а в случае, если он гироскопический, то расположен рядом с цапфой на казеннике пушки. При этом регулируемая координата (продольная ось пушки, а более конкретно ее точка на дульном срезе) не охвачена главной обратной связью. Структурная схе-

ма САУ приведена на рис. 2, где в части координат и передаточных функция используются общепринятые обозначения.

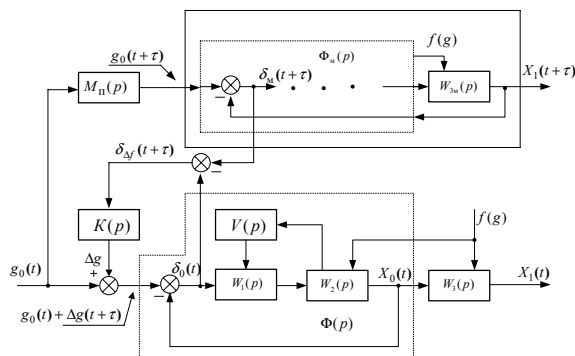


Рис.2. Структурная схема САУ с параллельной прогнозирующей моделью

Особенности структуры:

1) на входе модели стоит опережающее звено с передаточной функцией

$$M(p) = e^{p\tau}; \text{ где } \tau - \text{ время упреждения};$$

2) модель основного контура включает все звенья прямого тракта, в том числе и свободного звена; ее передаточные функции

$$\Phi_m(p) = \frac{W_m(p)}{1 + W_m(p)} \quad \Phi_{f_m}(p) = \frac{V_1(p)}{1 + W_m(p)};$$

3) дополнительная составляющая в управляющем воздействии формируется на основе разности сигналов ошибки модели и системы

$$\delta_{\Delta f}(t + \tau) = \delta_{\Delta f}(t + \tau) - \delta_0(t);$$

4) дополнительное управление в конечном итоге формирует звено с передаточной функцией  $K(p)$ .

Принципиальные вопросы, подлежащие исследованию: выбор прогнозирующих функций или полиномов и анализ точности их работы в реальном масштабе времени; алгоритмизация прогнозирующих функций и анализ особенностей из их программной реализации; выбор и назначение значения

времени прогноза; алгоритмы формирования дополнительной составляющей в управляющем воздействии; описание системы с опережающим звеном; устойчивость алгоритмов.

Проведенные исследования САУ с параллельной прогнозируемой моделью показали ее работоспособность и повышение точности выходных характеристик системы в целом на (20 – 40) %.

## Литература

1. Кобзев, А. А. Управление координатными перемещениями сборочных систем с коррекцией программного движения // Сборка в машино- и приборостроении. – 2007. – № 7. – С. 27 – 31.
2. Кобзев, А. А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Известия вузов. Электромеханика. – 1991. – № 12. - С. 73 – 79.
3. Кобзев, А. А. Коррекция программного движения в системах управления сборочными роботами // Известия вузов. Приборостроение. – 1992. – № 3 – 4. С. 15 – 20.
4. Новоселов, Б. В., Кобзев, А. А., Немонтов, В. А., Бессонов, А. А. Управление многокоординатными приводами инерционных объектов на основе принципа вложенных контуров // Оборонная техника. – 2006. – № 8. – С. 17 – 20.
5. Игнатьев, М. Б. Об инвариантности голономных автоматических систем // Теория инвариантности в системах автоматического управления. – М. : Наука, 1964.
6. Андрейчиков, Б. И. Динамическая точность систем программного управления станками. – М. : Машиностроение. – 1964. – 368 с.
7. Кобзев, А. А. Особенности описания и построения систем управления с прогнозируемой моделью // Междунар. конф. по дифференц. уравнениям. – Суздаль, 2004. – С. 106 – 107.

8. Кобзев, А. А., Новоселов, Б. В., Мишулин, Ю. Е., Батазов, В. Н. Система автоматического управления объектов вооружения с прогнозируемой моделью // Оборонная техника. – 2006. – № 8. – С.29 – 32.

9. Кабанов, С. А. Управление системами на прогнозирующих моделях. – СПб. ЛГУ, 1997. – 198 с.

С.М. Фролов, А.Н. Гоц

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ, САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ СТРУЙ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Известно, что в момент подачи струи жидкого топлива воздух в цилиндре дизеля имеет высокое давление (0,20...0,80 МПа) и температуру (800 – 900 К). Капли топлива испаряются, образуя неоднородную капельно-паровоздушную смесь, способную к самовоспламенению. Именно самовоспламенение отдельных объёмов смеси и последующее горение распыленного топлива в камере сгорания дизеля составляют важнейшую стадию рабочего процесса. Основные характеристики двигателя, включая содержание вредных веществ в отработавших газах, зависят от скорости и режима сгорания топлива. Глубокое понимание физико-химических закономерностей испарения, самовоспламенения и горения распыленного топлива в условиях дизеля даст возможность правильно организовать рабочий процесс с ультранизким выходом вредных веществ, не прибегая к использованию каталитических дожигателей.

Цель работы – построить физико-математическую «подсеточную» модель испарения, самовоспламенения и горения облака капель жидкого топлива, которая бы учитывала конечные скорости диффузии и химических превращений, а также экранирующие эффекты соседних частиц в облаке. Поскольку такая модель предназначена для применения в многомерных расчетах на оптимизацию рабочего процесса дизеля, основное требование к ней – физическая адекватность и простота. В основу такой модели положили результаты

наших предыдущих исследований испарения, самовоспламенения и горения капель, основанные на численном решении полной сопряженной задачи с многокомпонентной диффузией и реакцией в газовой фазе [1].

На первом этапе провели параметрическое исследование закономерностей испарения и самовоспламенения капельных газовзвесей *n*-декана и *n*-тетрадекана в условиях дизеля, используя полную модель [1]. Для этой цели все определяющие параметры варьировали в широком диапазоне значений: начальный диаметр капель  $d_0$  – от 5 до 150 мкм, коэффициент избытка горючего в капельном облаке  $\alpha$  – от 0,1 до 2,0, начальное давление  $p_0$  – от 0,20 до 0,80 МПа, начальная температура воздуха  $T_0$  – от 800 до 900 К. Кинетику химических превращений описывали с помощью проверенного глобального механизма с шестью компонентами и пятью реакциями. Оказалось, что в расчетах самовоспламенение происходило там, где образовывалась паровоздушная смесь, близкая к стехиометрической, при локальной температуре, обеспечивающей прогрессирующее самоускорение реакции (в соответствии с теорией Н. Н. Семенова). Интересно, что приведенное расстояние от центра капли  $\delta_* = d_* / d_0$ , на котором происходило самовоспламенение, и приведенная температура в точке самовоспламенения  $\theta_* = T_* / T_0$  слабо зависели от

определяющих параметров задачи. Этот эффект связан с относительно слабым влиянием определяющих параметров на процессы переноса в газе и сильным их влиянием на скорость химических превращений. Например, на рис. 1 показаны расчетные распределения температуры внутри и в окрестности капли н-декана в моменты времени 2; 2,25 и 2,5 мс в однородной капельной газозвесе с  $d_0 = 40$  мкм,  $\alpha = 1$ ,  $T_0 = 900$  К и  $p_0 = 2,0$  МПа. Средние значения  $\delta^*$  и  $\theta^*$  по всем проведенным расчетам для двух топлив оказались равными 3,7 и 0,91 соответственно, причем максимальные отклонения по  $\theta^*$  не превышали 10 %.

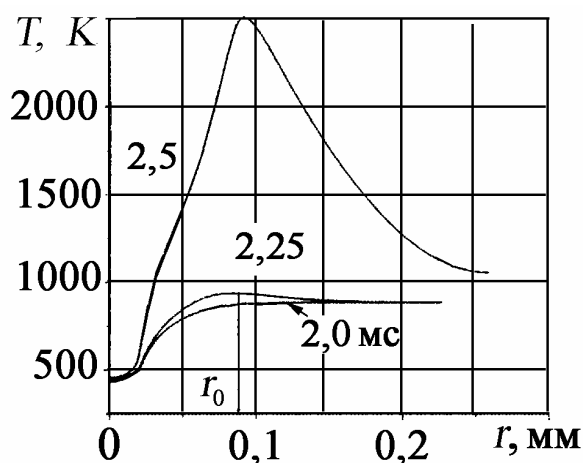


Рис. 1. Расчетные распределения температуры внутри и в окрестности капли н-декана в моменты времени 2; 2,25 и 2,5 мс в однородной капельной газозвесе с  $d_0 = 40$  мкм,  $\alpha = 1$ ,  $T_0 = 900$  К и  $p_0 = 2,0$  МПа

Этот результат стал предпосылкой для разработки простой модели самовоспламенения и горения капель в облаке. Из него следует, что самовоспламенение паровоздушной смеси в окрестности капли происходит тогда, когда приведенная температура газа  $\theta = T/T_0$  на расстоянии  $\delta^*$  достигает значения  $\theta^*$ .

Если считать, что скорость химических превращений на предвзрывном разогреве относительно мала, задержку самовоспламенения капли  $\tau_i$  можно определить, используя модель испарения капли. Действительно, выполненные нами расчеты испарения капельных газозвесей н-декана и н-тетрадекана в условиях дизеля подтвердили справедливость этой гипотезы.

На втором этапе, используя полученный результат, разработали простую модель самовоспламенения и горения капель в условиях дизеля. В основу модели положили расширенную модель испарения капель в капельной газозвесе [2], дополняющую модель [3]. В трехмерном газодинамическом расчете рабочего процесса в дизеле полурасстояние  $R$  между соседними каплями зависит от массовой концентрации жидкости  $\eta$  и среднего радиуса каплей  $R_0 = d_0/2$  в расчетной ячейке:

$$R \approx R_0(\rho_l/\eta)^{1/3},$$

где  $\rho_l$  — плотность жидкости. Чтобы учесть диффузионно-лимитированные процессы в окрестности каплей, среднюю температуру газа  $T_g$  и среднюю концентрацию пара в ячейке перераспределяли: вместо однородных распределений в ячейке получались неоднородные (параболические) распределения внутри элементарных сфер. Распределения температуры и концентрации пара в сферах рассчитывали по известным значениям температуры и концентрации пара на поверхности каплей. Считали, что температура поверхности капли равна температуре насыщения. В такой модели естественным образом возникает период индукции  $t_{src}$  — тот период в жизни капли, когда коллективные эффекты не проявляются (рис. 2, а). В течение этого периода глубина проникновения межфазных тепловых и диффузионных потоков  $R_{scr}$  меньше радиуса элементарной сферы ( $R_{scr} < R$ ), а сами потоки опре-

деляются значениями максимальной температуры газа  $T_{\max}$  и минимальной концентрации пара в ячейке. По завершении периода индукции начинают проявляться коллективные эффекты (рис. 2, б). На этой стадии процесса  $R_{scr} = R$  и тепловые, и диффузионные потоки определяются значениями температуры и концентрации пара на границе элементарной сферы.

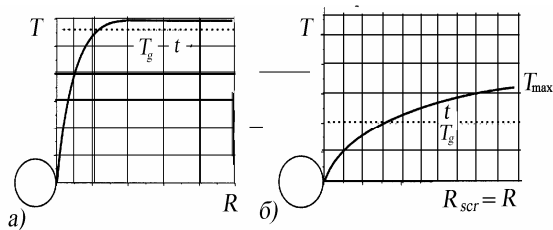


Рис. 2. Распределения температуры в окрестности капли: а – при  $t < t_{scr}$ ; б – при  $t > t_{scr}$

В моделях [2, 3] динамика испарения капли описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями баланса массы и энергии. Кроме того, в этих моделях учитывается нестационарный характер теплообмена газа и капли: коэффициент теплоотдачи зависит от времени. Следуя критерию самовоспламенения, предложенному выше, самовоспламенение капли происходит, когда на параболическом профиле температуры  $\theta(\delta_*) = \theta_*$ . Сразу после истечения задержки самовоспламенения вокруг капли устанавливается фронт пламени: начинается стадия диффузионного горения. На этой стадии тепловой поток на поверхность капли определяется уже не максимальной температурой газа  $T_{\max}$ , а температурой пламени  $T_f$ .

Одновременно с диффузионным пламенем, окружающим каплю, в топливно-воздушной смеси между каплями также могут протекать химические реакции, приводящие к объемному самовоспламенению и распространению

пламени. В данной работе газофазное горение в пространстве между каплями описывалось моделью Сполдинга со скоростью горения, обратно пропорциональной локальной частоте турбулентных пульсаций.

На рис. 3 показаны последовательные расчетные распределения температуры в капельном облаке *n*-декана в воздухе при  $d_0 = 60$  мкм,  $T_0 = 900$  К и  $p_0 = 2,0$  МПа. Размер расчетной области 1x1 см. Расчет проведен с помощью вычислительной программы AVL FIRE с новыми моделями испарения, самовоспламенения и горения капель. Видно, что самовоспламенение в газовой фазе происходит на периферии облака, где минимальны эффекты охлаждения газа за счет испарения частиц. В дальнейшем фронты горения распространяются вглубь облака. Примечательно, что в расчете одновременно наблюдаются акты самовоспламенения капель, диффузионные пламена вокруг одиночных капель и групп капель, акты погасания капель ввиду отсутствия кислорода и повторного зажигания при конвективно-диффузионном притоке кислорода, испаряющиеся капли, а также газофазное горение паров топлива в пространстве между каплями. Вследствие динамической инерционности капель в расчете наблюдаются и элементы конвективного механизма горения газовзвеси: частицы зажигаются в конвективных потоках горячих газов. Таким образом, новая «подсеточная» модель испарения, самовоспламенения и горения капель значительно расширяет возможности математического моделирования рабочего процесса в дизеле.

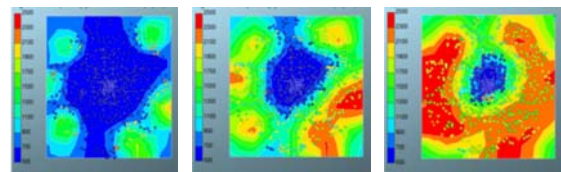


Рис. 3. Расчетные распределения температуры в облаке капель *n*-декана при  $d_0 = 60$  мкм,  $T_0 = 900$  К и  $p_0 = 2$  МПа; слева направо:  $t = 4; 4,5$  и  $5$  мс

Авторы выражают признательность К. А. Авдееву, В. Я. Басевичу, В.А. Сметанюку и Ф.С. Фролову за участие в работе по всестороннему тестированию модели. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 07-08-00558 и 08-08-0068).

### **Литература**

1. Frolov, S. M., Basevich, V. Ya., Belyaev A. A., Posvyanskii, V. S., Smetanyuk V. A. Modeling of drop evaporation and combustion with regard

for spray effects // In: Combustion and Pollution: Environmental Effect. Eds. G.D. Roy, S. M. Frolov, A. M. Starik. Moscow, Torus Press, 2005. – P. 117-132.

2. Фролов, Ф. С., Сметанюк, В. А., Фролов, С. М. Модель испарения капель в газозвеси // сб. тр. XXXI Аккад. чтений по космонавтике. – Москва, Комиссия РАН, 2007. – С. 157 – 158.

3. Frolov, S. M., Frolov, F. S., Basara, B. Simple model of transient drop vaporization // Journal of Russian Laser Research, 2006. – Vol. 27. - No. 6. – P. 562 – 574.

**Б.Г. Ким**

## **О ТЕОРИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ИСПРАВНОСТИ ПАРКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

### ***1. Определение сферы применения теории обеспечения работоспособности и исправности парков техники***

В последние десятилетия происходят коренные изменения в теории и практике управления производством. Это связано с широким применением методов экономико-математического моделирования и современных счётно-решающих средств. Кроме того, изменение экономического вектора развития страны, резкое увеличение функции денег, перспективы инновационной составляющей развития строительного комплекса требуют переосмысления теоретических основ использования и обеспечения исправности парков техники.

Отсутствие научной теории управления техническим состоянием машинных парков связано с несколькими причинами:

– крупные машинные парки, в основном, сложились только в СССР и социалистических странах;

– в этих странах официально функционировала только система ППР или аналогичные ей, поэтому проблемы выбора не стояло;

– современные теоретические исследования по обслуживанию групп техники в большей части посвящены решению вопросов обслуживания очередей восстанавливаемых объектов в связи, радиоэлектронике, вычислительной технике, приборостроении, где имеется своя специфика;

– средства количественной оценки технического состояния функционирующих машин и их элементов появились сравнительно недавно;

– современные методы и средства управления дают возможность оптимизации принимаемых решений;

– средства и методы, позволяющие оптимизировать принимаемые решения в области ремонтной политики, появились сравнительно недавно.

Вместе с тем, как указывалось выше, имеется определенный круг работ, рассматривающих вопросы, не относящиеся ни к одной из теорий, объясняющих процессы использования машин. В области механизации строительства к таким работам относятся труды О.А. Бардышева, Д.П. Волкова, Е.М. Кудрявцева, С.Н. Николаева и ряда

других авторов. Эти работы связаны с процессом обеспечения работоспособности парков строительной техники. Имеются аналогичные исследования и в других отраслях народного хозяйства.

Таким образом, есть предпосылки создания теории обеспечения исправности и работоспособности парков техники. Эта теория дополняет другие (старения машин, рабочих и вспомогательных процессов), обеспечивая в первую очередь теоретическую базу принятия решений по вопросам ремонтной политики организации.

Основные направления развития этой теории:

1. Приспособленность машины к функционированию в конкретных условиях эксплуатации (эксплуатационный аспект модернизации).

2. Количественная оценка влияния факторов эксплуатации на техническое состояние машин и ее элементов.

3. Определение влияния интенсивности использования на техническое состояние оборудования.

4. Изучение, разработка новых и классификация систем обеспечения работоспособности техники.

5. Разработка конкретных структур систем обеспечения исправности и работоспособности оборудования, классификация ступеней восстановительных воздействий для определенных видов машин.

6. Нахождение и оптимизация организационных структур управления процессом обеспечения исправности и работоспособности парков техники.

7. Разработка комплексов стандартных управленческих решений по руководству техническим состоянием парков машин.

8. Технология производства ремонтно-профилактических работ с прогнозированием их развития.

9. Поиск общего критерия оптимизации и определение корреляционной связи локальных критериев отдельных задач с общим (глобальным).

Однако, прежде всего, нужна отработка общей концепции теории обеспечения исправности и работоспособности оборудования. Обоснование такой концептуальной модели лежит в предварительном анализе вышеуказанных аспектов проблемы.

Рассмотрим более подробно некоторые из них:

1. Приспособленность машины к функционированию в конкретных условиях эксплуатации

Как правило, в нашей стране в условиях крупносерийного производства приспособленность техники выражается в ее подготовленности к работе в каких-либо климатических зонах или в применении различных типов ходового оборудования.

За рубежом практически большинство фирм за дополнительную плату могут учесть пожелания заказчика по подготовке техники в узких специфических условиях работы.

2. Количественная оценка влияния факторов эксплуатации на техническое состояние машины и ее составляющих элементов

Как показывают ряд исследований, в том числе и автора, на техническое состояние строительного оборудования оказывают существенное влияние целый ряд определенных факторов. При этом важнейшей задачей является вычленение действия конкретного фактора на техническое состояние объекта и нахождение математического описания этого влияния в течение как срока службы, так и в отдельные, в том числе сезонные, периоды использования машины. Для решения этой задачи разработаны отдельные методики.



3. Влияние интенсивности использования оборудования на техническое состояние оборудования

Интенсивность использования оборудования, бесспорно, существенную роль при изучении износа техники. Однако, как показали исследования, здесь зависимость технического объекта от вышеуказанного фактора значительно сложнее, чем можно предположить на первый взгляд. Познание соответствующих закономерностей дает возможность уточнения прогноза использования техники, потребности в ремонтно-восстановительных мощностях.

4. Изучение, разработка новых и классификация систем обеспечения работоспособности техники

Вопросы этого направления освещены в данной работе достаточно подробно.

5. Разработка конкретных структур систем обеспечения исправности и работоспособности оборудования, классификация ступеней восстановительных воздействий для определенных видов машин

Ступени систем обеспечения исправности и работоспособности машин, как правило, следует определять исходя из конкретных условий эксплуатации, требований безопасности и охраны окружающей среды. По каждой принятой системе их должно быть немного, в среднем от одной до трех.

Количество ступеней ремонтно-профилактического обслуживания напрямую зависит как от сложности оборудования, так и от принимаемой системы обеспечения работоспособности техники. Это позволит обеспечить достаточно простую нормативную базу и учесть особенности эксплуатации различных видов оборудования.

Количество ступеней, их разновидности зависят от сложности обслуживаемого оборудования и особенностей эксплуатации. Опыт показал, что, в принципе, число разработанных ступеней технического обслуживания, используемых в системе ППР,

вполне достаточно и для других систем, а количество ступеней ремонта может колебаться в пределах от 1 до 3 (для отдельных машин, в основном простых конструкций, достаточно проведения только текущих ремонтов, для других – текущий и капитальный, для третьих – текущий, средний, капитальный и т.п.)

6. Нахождение и оптимизация организационных структур управления процессом обеспечения работоспособности парков техники

Если при плановой экономике можно наблюдать считанное количество организационных структур обеспечения работоспособности машин, то в условиях рыночных отношений выбор подходящей системы обслуживания во многих случаях носит или интуитивный характер, или исключается и, в этом случае, применяется заявочная система ремонта машин.

Рассмотрим традиционные для нашей страны управленческо-технологические цепочки: 1) эксплуатация (строительная организация) – техническое обслуживание (строительная организация) – текущий ремонт (строительная организация) – капитальный ремонт (специализированный ремонтно-механический завод); 2) эксплуатация (строительная организация) – техническое обслуживание (строительная организация)-текущий ремонт (управление механизации) – капитальный ремонт (специализированный ремонтно-механический завод); 3) капитальный ремонт проводится на ремонтно-механических заводах, остальная цепочка связана с управлениями механизации; 4) эксплуатация (строительная организация, управление механизации) – техническое обслуживание и диагностирование (специал.хозрасчетное подразделение) – текущий ремонт (управление механизации) – капитальный ремонт (ремонтно-механический завод). В условиях рыночной экономики все эти структурные схемы могут быть также применены.

Вместе с тем, большое распространение имеет следующая структурная схема: предэксплуатационное обслуживание (торговый центр) – эксплуатация (строительная фирма) – техническое обслуживание (дилер) – диагностирование (дилер) – текущий ремонт (дилер) – капитальный ремонт (ремонтная фирма – дилер).

Меньшее распространение имеет схема: эксплуатация (строительная фирма) – техническое обслуживание (дилер) – диагностирование (специализированный центр) – текущий ремонт (ремонтная фирма) – капитальный ремонт (ремонтная фирма). В ряде случаев ремонтная фирма работает как отделение завода-производителя строительного оборудования или тесно связана с ним.

7. Комплекс моделей и стандартных управленческих решений по руководству техническим состоянием парков машин

Для разработки вопросов этого аспекта необходимо выделить проблемы и задачи, обеспечивающие им решение теоретических вопросов, так и практическую полезность их внедрения. Проблемы разных направлений при этом могут и не иметь общих точек соприкосновения. В свою очередь, задачи, решаемые внутри проблем, могут быть сгруппированы в обособленные блоки.

Рассмотрим узловые, на наш взгляд, проблемы, составляющие основу комплекса прикладных задач по управлению техническим состоянием парков машин:

1. Установление закономерностей износа машин в период их эксплуатации.
2. Выявление оптимальной системы обслуживания для конкретных машин с учетом особенностей их эксплуатации.
3. Выбор оптимальной стратегии обслуживания парков машин, в том числе в условиях дефицита ремонтных мощностей.

4. Регулирование процессов управления эксплуатацией и обеспечения работоспособности парков техники.

5. Формирование рациональных структур парков техники и прогнозирование выбытия и приобретения оборудования.

6. Группа задач, связанная с кадровыми вопросами обеспечения ремонтно-профилактического обслуживания машин.

Следует отметить, что, например, задачи второго направления практически не решены. Ясно, что решение задач практического применения переведет проблему научного обоснования обеспечения работоспособности парков машин из разряда концепций в научную теорию.

8. Технология производства ремонтно-профилактических работ с прогнозированием их развития

Совокупность решений этой проблемы, на первый взгляд, не относится к вопросам разработки теории обеспечения работоспособности парков строительной техники. Однако уровень выполнения и организации этих работ напрямую связан с целым рядом научно-практических задач, обеспечивающих обоснование отдельных положений теории.

9. Определение и выверка общего критерия оптимальности и установление корреляционной связи локальных критериев отдельных задач с общим (глобальным)

Наиболее общий критерий эффективности любой системы – ее применение на практике. На настоящий момент, в качестве глобального критерия могут выступать себестоимость работ, выполняемых механизированным способом, либо удельные приведенные затраты на производство продукции.

**2. Место теории обеспечения работоспособности парков машин в общем составе теорий, изучающих конструирование, использование и взаимодействие техники**

Среди теорий, объясняющих вопросы производства и эксплуатации техники, можно выделить три основные группы.

Первая – это частные теории, входящие в общую теорию машин. Академик И. И. Артоболевский оценил содержание теории машин как науку, изучающую механику машин во взаимодействии с рабочими процессами, ими выполняемыми. В число основных проблем, являющихся предметом изучения теории машин, он включил теорию рабочих процессов, механику машин (кинематику и динамику), теорию построения машин автоматического действия. Таким образом, первоначально теория машин и механизмов рассматривалась И. И. Артоболевским как теория построения механизмов и взаимодействия деталей их составляющих. Несколько ранее академик В. П. Горячкин и его ученики, работавшие в ВиСХОМе (Всесоюзный НИИ сельскохозяйственного машиностроения), ВИМе (Всесоюзный НИИ механизации сельского хозяйства), ГОСНИТИ, других коллективах, исследовали вопросы конструирования сельскохозяйственной техники, некоторые аспекты кинематики и динамики машин.

Изучение рабочих процессов строительных машин отражены в трудах Д.П. Волкова, Н.Г. Домбровского, В.И.Баловнева, К.А. Артемьева, Ю.А. Ветрова, Н.Я. Хархуты, Н.А. Ульянова, других авторов. Эти работы посвящены изучению прежде всего вопросов конструирования машин и их рабочих органов.

Вторую группу работ составляют труды, связанные с надежностью машин.

Теория надежности объясняет проблемы связанные с созданием долговечных безо-

пасных конструкций. Она применяется при изучении вопросов физического износа техники. Ею пользуются при решении некоторых вопросов функционирования оборудования. Основная направленность теории и её частных приложений отражена в названии. Тем самым, четко очерчен круг вопросов решаемых о ее использовании.

Третья группа связана с рассмотрением теоретических вопросов обслуживания сложных систем. В качестве аппарата исследования применяется теория массового обслуживания, исследования операций, другие более частные теоретические разработки. Наиболее активно это направление используется при решении задач электроники, связи, автоматике. Есть работы этого направления и в механизации строительства, на автотранспорте и сельском хозяйстве.

Эти исследования позволяют научно обосновать решения вопросов резервирования, оптимизации ремонтных мощностей, снабжения запасными частями, определить время простоя однотипных машин в ожидании ремонта.

Теории, применяемые для решения вышеуказанных задач не специальные. Их применение – лишь частное приложение этих теорий в конкретных проблемах. Важнейший положительный момент применения этих теорий – рассмотрение вопросов функционирования сложных систем, к каковым относятся и парки машин.

На рисунке приведена блок-схема взаимодействий теорий и практических аспектов конструирования, использования и восстановления парков машин.

Анализ их взаимосвязей показывает, что известные теории не обеспечивают решения вопросов организационно-управленческого плана обеспечения исправности и работоспособности машин. Из этого следует, что нужна новая теория, с помощью которой можно научно обосновать многие решения ремонтной политики организации.

Такой теорией является теория обеспечения работоспособности парков машин.



Блок-схема взаимосвязей теорий и практических аспектов конструирования, использования и восстановления парков машин

## ВЫВОДЫ

1. Выпуск массового количества машин и оборудования, разнообразие конструкций и режимов применения техники, создание крупных машинных образований определяют потребность в нескольких системах восстановления и поддержания работоспособности техники.

2. Применение средств технической диагностики, современных методов и средств управления производством в парке изменило подходы к решению вопросов ремонтной политики.

3. Существующие теории не дают ответа на многие вопросы организации и управления процессами поддержания и восстановления парков оборудования.

4. Нужна новая теория, на использовании которой могут приниматься научно-обоснованные решения в области организации и управления работоспособности машин.

Такой является теория обеспечения работоспособности и исправности парков машин.

5. Наличие значительного числа работ, проводимых в сфере применения этой теории, позволяет сделать вывод о достаточно четком круге вопросов этой теории.

6. Ее создание позволяет резко расширить теоретическую базу использования парков техники.

7. Теория обеспечения работоспособности и исправности парков машин строительных машин – это система определенных идей, дающая целостное представление о законах, закономерностях и существующих связях процессов технической эксплуатации машин, изменениях их состояния, экономических и математических моделей и методов, направленных на решение задач поддержания функционирования парков оборудования надлежащим образом.

Б.Г. Ким

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА АСФ

В этом году мы отмечаем не только 50-летие нашего университета, но и такой же юбилей высшего строительного образования в г. Владимире. Около сорока лет вуз готовит инженеров-строителей. За это время подготовлено более 10 тысяч квалифицированных специалистов. Наибольшее число студентов-строителей приходится на последние годы советской власти. В конце восьмидесятых годов они учились на двух очных, вечернем строительном и заочном факультетах. Число групп, обучавшихся одновременно на дневном факультете по специальности «Промышленное и гражданское строительство», достигло восьми.

В девяностые годы была прекращена подготовка инженеров по специальности «Сельскохозяйственное строительство». И до конца девяностых годов университет (тогда ВПИ) вел обучение студентов по специальностям «Промышленное и гражданское строительство», «Автомобильные дороги», «Архитектура». В начале девяностых годов тогдашний начальник Облгаза В.И. Тарасенко организовал подготовку специалистов по теплогазоснабжению и вентиляции. А на стыке веков на факультете появились новые специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Водоснабжение и водоотведение», «Экспертиза и управление недвижимостью», «Городское строительство и хозяйство». Это вынудило предъявить новые требования к квалификации профессорско-преподавательского состава факультета. Приняты новые сотрудники, освоены ранее не проводимые курсы спецдисциплин.

Высокий уровень преподавания в вузе невозможен без научной деятельности. На факультете сложилось несколько научных школ по приоритетным направлениям.

Кафедра строительного производства:

– проектирование и расчет тонкостенных железобетонных оболочек (д.т.н., проф. А.С. Жив, к.т.н., доц. В.Б. Акимов);

– синергобетонирование (д.т.н., проф. А.С. Арбенев

– обеспечение исправности и работоспособности парков техники (д.т.н., проф. Б.Г. Ким);

– инвестиционное развитие строительного комплекса (д.э.н., проф. Б.В. Генералов, к.т.н., доц. В.В. Федоров);

– совершенствование методов реставрации памятников архитектуры (д.т.н. Е.В. Косыгин);

– совершенствование методик исследования и получение строительных материалов (к.т.н., доц. Н.Н. Тур).

Кафедра строительных конструкций:

– деревянные армированные конструкции (к.т.н., проф. В.Ю. Шуко);

– металлические облегченные конструкции (к.т.н., проф. В.В. Михайлов).

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции:

– методы и средства контроля и диагностики трубопроводов (д.т.н., проф. А.И. Евдокимов);

– организационно-техническая надежность газового хозяйства (к.т.н., проф. В.И. Тарасенко).

Кафедра сопротивления материалов:

– расчет и проектирование магистральных трубопроводов (д.т.н., проф. В.П. Валуйских).

На кафедрах архитектуры и автомобильных дорог идет поиск тем своих научных изысканий. Например, канд. арх. И.В. Труфанова активно работает в области истории архитектуры, развития градостроительных схем.

Наличие широкого спектра специалистов позволяет факультету выполнять самые разнообразные научно-исследовательские хозяйственные работы и достигать поставленных перед нами финансовых ориентиров.

Следует отметить и проектную деятельность на факультете. Наличие лицензии на проектирование зданий и сооружений высотой до 25 этажей позволило выполнить ряд внутривузовских проектных работ по реконструкции корпуса № 2 и по ул. Студенческой 8, дать проекты благоустройства территории университета.

Факультет ежегодно принимает участие в межрегиональной выставке «Стройпрогресс» с первого ее проведения. Результаты студенческой науки отражаются в призовых местах на всероссийских и международных конкурсах дипломных работ. Ежегодно 5–10 выпускников становятся аспирантами. На

факультете действует региональный (совместно с Ивановским ГАСУ) диссертационный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций. Подготовлено и защищено несколько десятков диссертаций, в том числе иностранными специалистами из стран Азии, Африки, Латинской Америки, ближнего зарубежья. А выпускник факультета Е.В. Косыгин стал доктором технических наук.

На ближайшую перспективу намечено резкое расширение научных исследований на факультете. Это связано прежде всего с получением по линии инновационно-образовательной программы новой научно-исследовательской индустриальной базы. С ее вводом в эксплуатацию резко возросли возможности проведения исследований в области строительных материалов, конструкций, инженерных сетей.

**П.Н. Захаров**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОРРЕКТИРОВКИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА**

Корректировка стратегии может быть представлена в виде компенсационных изменений, вносимых в стратегию при ее реализации с точки зрения повышения эффективности достижения долгосрочных целей. С учетом данного подхода корректировка стратегии может быть рассмотрена как один из ключевых элементов стратегического управления. Данный тезис может быть доказан при рассмотрении этапов, составляющих управленческий цикл (рис. 1).

По сути, схема, представленная на рис. 1, обладает, по мнению автора, значимым недостатком по вопросу коммуникационного взаимодействия этапов жизненного цикла – обратной связи, которая может корректировать любой этап, а не только начальный («диагностика проблемы»).

Корректировка, вносящая необходимые изменения в управляющее воздействие, проявляется в ходе реализации обратной связи. Таким образом, изначально стратегические решения закладывают фундамент будущих изменений. Следовательно, корректировка стратегии не должна возникать спонтанно, а быть научно обоснованной и логичной.

С точки зрения системного подхода результатом реализации корректировки стратегии развития университета должно являться управленческое решение (управляющее воздействие). Модель «черного ящика» корректировки стратегии развития университета представлена на рис. 2.

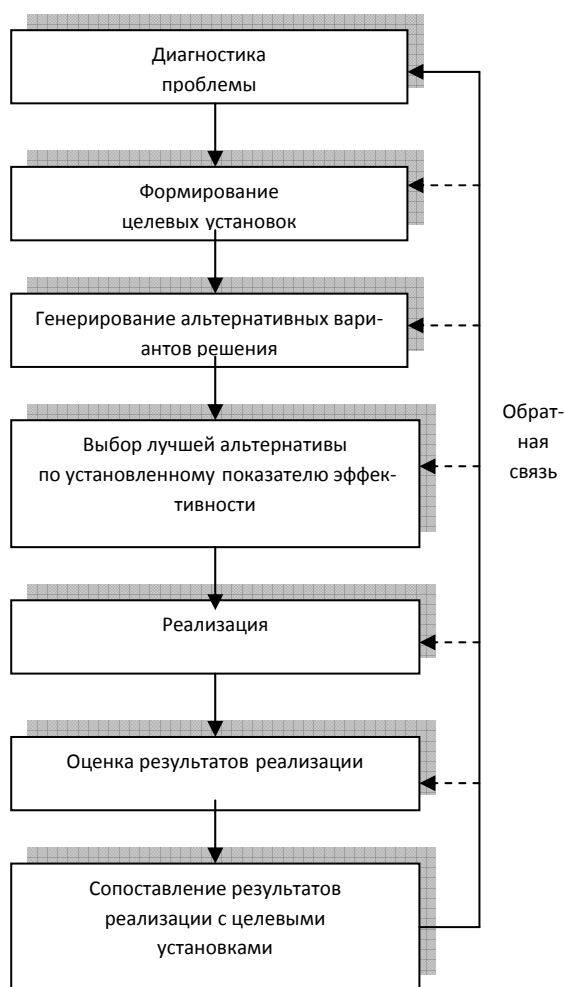


Рис. 1. Основные этапы управленческого цикла

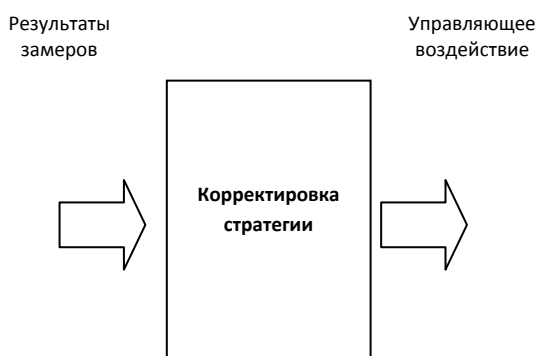


Рис. 2. Модель «черного ящика» корректировки стратегии развития университета

Необходимо отметить тот факт, что движение по «стратегической траектории» развития социально-экономической системы может привести к изменению этапа жизненного цикла, под которым понимаются «... предсказуемые изменения с определенной предсказуемостью состояний в течение времени» [1]. Кроме того, жизненный цикл определяет период существования организации, а смена его этапов может рассцениваться как наиболее серьезное условие изменения подходов по отношению к формулированию целевых установок.

С точки зрения представленной позиции возникает необходимость рассмотрения этапов жизненного цикла. Специалисты и исследователи в области системного управления организациями формируют следующие подходы к структуризации жизненного цикла организации. Так, профессор Ю.Н. Лапыгин в учебном пособии «Системное управление организациями» формулирует 8 этапов жизненного цикла организации, представленных на рис. 3 [2].

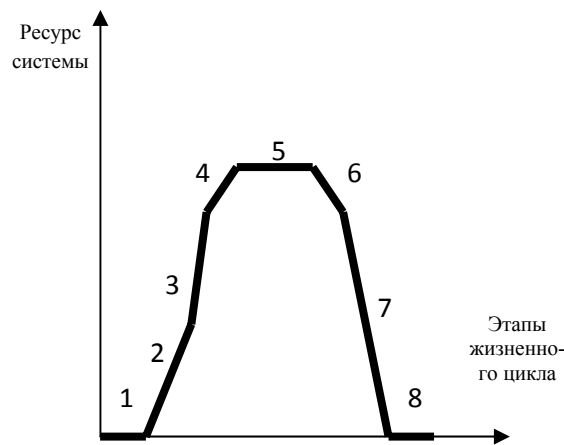


Рис. 3. Этапы жизненного цикла организации: 1 – порог нечувствительности; 2 – внедрение; 3 – рост; 4 – зрелость; 5 – насыщение; 6 – спад; 7 – кризис; 8 – ликвидация

В свою очередь, автор известного учебника «Теория организации» профессор Б.З. Мильнер выделяет 5 этапов жизненного цикла организации:

- 1) этап предпринимательства;
- 2) этап коллективности;
- 3) этап формализации и управления;
- 4) этап выработки структуры;
- 5) этап упадка [3].

Как представляется автору статьи, с точки зрения корректировки стратегии университета наиболее важным является смена характера динамики развития системы, т.е. принципиальным является выделение следующих этапов жизненного цикла (рис. 4):

1. Восходящее развитие – положительная динамика ресурса системы.
2. Инерционное развитие – тенденции нулевого роста.
3. Нисходящее развитие – деградация организации как системы.

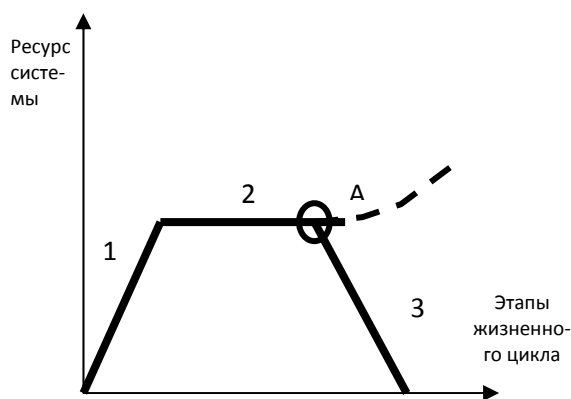


Рис. 4. Укрупненные этапы жизненного цикла организации: 1 – восходящее развитие; 2 – инерционное развитие; 3 – нисходящее развитие

Интерес для исследователей представляет смена «знака» динамики развития организации (т. А – точка бифуркации, представляющей собой «...скачок параметров системы после критического расхождения траек-

тории развития» [4]), поскольку в этом случае решается принципиальный вопрос дальнейшего существования организации как системы.

Смена этапов жизненного цикла приводит к изменению параметров, определяющих содержание стратегии развития университета. В сущности, реализация корректировки меняет содержание стратегии, т.е. в результате изменения стратегических изменений необходимо получить новую модель состава стратегии. Содержание стратегии развития университета определяется параметрами, представленными на рис. 5.

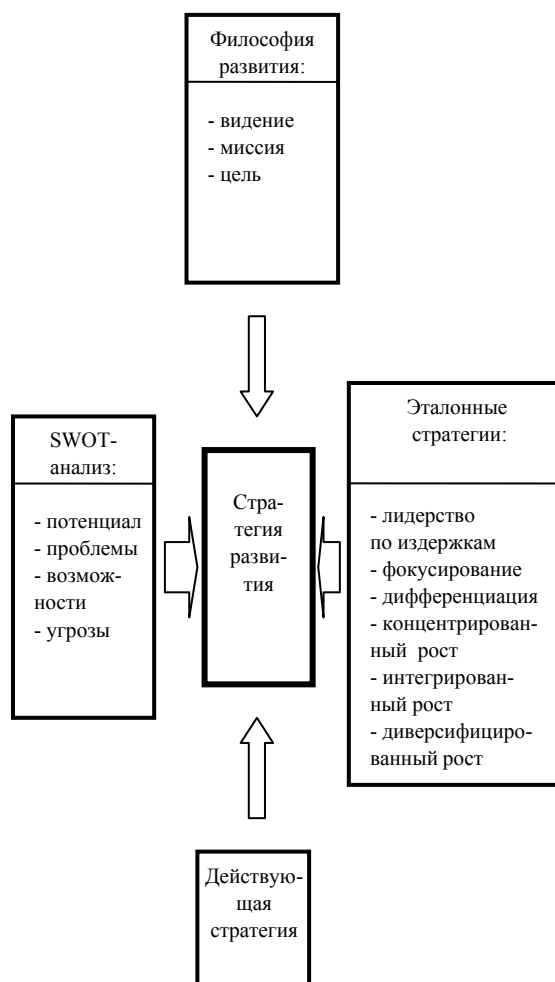


Рис. 5. Факторы, определяющие содержание стратегии развития университета



Известные специалисты в области стратегического управления Майк Фридман и Бенджамин Трегоу формируют следующий перечень показателей, определяющих эффективность реализации стратегии [5]:

- финансовые показатели;
- товарно-рыночные показатели;
- показатели конкурентоспособности;
- оценка внешней ситуации;
- оценка внутренней ситуации.

Значимой проблемой является вопрос о критериях оценки данных показателей. То есть, какое изменение индикатора должно приводить к необходимости корректировки стратегии. В данном контексте появляются два возможных проявления:

- 1) постоянно появляющиеся незначительные отклонения;
- 2) единовременные крупные сбои.

Однако следует подчеркнуть тот факт, что изменения не должны быть слишком частыми, т.к. данная ситуация является источником неопределенности, порождающим организационные сопротивления. Каждый человек более восприимчив к стабильности и частые изменения и пересмотр стратегии может быть расценен отрицательно.

Данная ситуация объясняется тем обстоятельством, что стратегия реализуется с точки зрения долгосрочного периода, что формирует следующие особенности:

1. Внешняя среда организации динамично меняется, следовательно, результаты SWOT-анализа не являются константой.
2. Развитие корпоративной культуры формирует новые представления о видении и миссии.
3. Появление новых теорий и представлений о стратегическом менеджменте (косвенно данный процесс можно представить как результат развития внешней среды дальнего окружения) изменяет перечень эталонных стратегий.

Решающее влияние на корректировку стратегии развития университета оказывают

результаты SWOT-анализа, т.к. при использовании данного универсального метода исследования могут быть выявлены особенности изменения и развития как внутренних переменных системы, так и внешнего окружения. Таким образом, процесс корректировки стратегии развития университета может быть представлен следующей графической моделью (рис. 6).



Рис. 6. Схема формирования содержания корректировки стратегии

Учитывая непрерывность процесса корректировки стратегии, интерес представляет утверждение авторов монографического исследования «Искусство и наука стратегии лидерства» Майка Фридмана и Бенджамина Трегоу о том, что «...существующая стратегия является базисом стратегии будущего» [6], что является подтверждением значимости системности и научности с точки зрения подходов по отношению к корректировке стратегии в процессе ее реализации.

При этом следует подчеркнуть тот факт, что, как и любое управленческое решение,

корректировка стратегии должна преследовать своей целью повышение эффективности университета как системы.

Важным аспектом корректировки стратегии развития университета является ориентация на соответствие основным аккредитационным показателям. Поскольку процесс аккредитации осуществляется через каждые пять лет, то указанный интервал является наиболее оптимальной итерацией с точки зрения уточнения основных количественных параметров, определяющих параметры стратегического развития университета. Кроме того, при формировании матриц решения SWOT-анализа возникает возможность комбинирования его параметров с интервалами межаккредитационных периодов.

Е.М. Марченко, М.В. Разумова

### ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассматриваются проблемы и направления формирования региональной инновационной инфраструктуры.

Владимирская область считается одним из наиболее урбанизированных, экономически развитых и инфраструктурно обустроенных регионов России. Специализация Владимирской области – высокотехнологичные отрасли машиностроения и металлообработки, также развиты текстильная, химическая, стекольная промышленность и художественные промыслы. Однако перегруженность предприятиями военно-промышленного комплекса и легкой промышленности затрудняет и отдаляет возможность быстрой адаптации Владимирского региона к конкурентной рыночной экономической среде.

### Литература

1. Мильнер, Б. З. Теория организации: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005. – С. 75.
2. Лапыгин, Ю. Н. Системное управление организациями. – М. : МГУЭСИ, ВлГУ, ВИБ, 2002. – С. 36.
3. Мильнер, Б. З. Теория организации: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005. – С. 76.
4. Лапыгин, Ю. Н. Системное управление организациями. – М. : МГУЭСИ, ВлГУ, ВИБ, 2002. – С. 175.
5. Лапыгин, Ю. Н. Системное управление организациями. – М. : МГУЭСИ, ВлГУ, ВИБ, 2002.
6. Фридман, М. Искусство и наука стратегии лидерства: Новый подход к корпоративному управлению / М. Фридман, Б. Трегоу; пер с англ. Е. Богдановой. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2004. – С. 251.

Инновационный путь развития Владимирской области необходимо основывать на переходе к экономике, базирующейся на генерации, распространении и использовании знаний. Одним из факторов инновационного развития области выступает непрерывно растущий объем рынка товаров и услуг.

Несмотря на рост объемов промышленного производства, капитального строительства, прямых инвестиций в основной капитал, значительно влияющих на развитие инновационной сферы, существует ряд проблем, сдерживающих развитие инновационной экономики в области. Во-первых, это отсутствие утвержденной законодательной базы в сфере инновационной деятельности, что связано с отсутствием такой базы в России в целом. Во-вторых, значительное снижение числа квалифицированных конструкторов и технологов. Имеющиеся на предприятиях инженерные кадры не владеют новыми наукоемкими технологиями, в том числе информационными, а большинство из них не способны повышать свою квалификацию и проходить переподготовку в связи с возрастом. В-третьих, отсутствие у предприятий собственных денежных средств для научных разработок и недостаток государственного финансирования. Среди источников финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки наибольшую долю занимают бюджетные средства (43 %), затем средства организаций государственного сектора (37 %), доля собственных средств составляет 20 %, а внебюджетных фондов – 0,01 %. Из чего следует четвертая проблема – неудовлетворительное состояние производственного оборудования, отсталость технологий как в промышленности, так и в социальной сфере.

Важной проблемой также является переход большинства научно-исследовательских центров с научных направлений на производственные. В настоящее время во Владимирской области немногие предприятия

имеют сильный инновационный потенциал, но еще меньше могут эффективно его использовать. Число организаций Владимирской области, выполнявших исследования и разработки, в 2007 г. составило 35 единиц, из них 23 – научно-исследовательские и конструкторские организации, 6 – промышленные организации и два высших учебных заведения. Другими словами, 79 % – это предприятия предпринимательского сектора деятельности; предприятия, выполнявшие исследования и разработки государственного сектора – 16 % и сектора высшего образования составляют 5 %. Данная структура остается неизменной на протяжении последних лет, однако общее число организаций, выполняющих исследования и разработки, уменьшается с каждым годом. Проблема связана с отсутствием комплексных исследований, методологических разработок и концептуальных подходов к оценке инновационного потенциала и эффективности его использования.

Основной проблемой, объясняющей все предыдущие, следует назвать отсутствие развитой региональной инновационной системы, инновационной инфраструктуры, отсутствие специального органа, отвечающего за технологическое и научное развитие экономики региона, несовершенство системы организации и управления созданием инноваций.

Формирование региональной инновационной системы во Владимирской области во многом должно определяться характером и направлениями реструктуризации промышленных предприятий, ликвидацией неэффективных производств и перераспределением ресурсов в инновационную сферу, а также налаживанием эффективной взаимосвязи между всеми элементами инновационной инфраструктуры.

В настоящее время во Владимирской области необходимо формирование такой инновационной инфраструктуры, которая:

- активизирует рынок исследований и разработок;
- определит ориентацию исследований на потребности региона;
- создаст эффективные связи между участниками инновационного процесса;
- гарантирует своевременное и достаточное финансирование;
- обеспечит наименьший срок выведения инноваций на рынок (с момента их создания);
- обеспечит создание именно конкурентоспособных новшеств, а не только тех, которые можно реально произвести;
- поможет снизить первоначальные затраты на исследования и высокие экономические риски при коммерциализации новшеств;
- предоставит высококвалифицированные кадры;
- позволит сформировать материально-техническую базу для создания и развития малых предприятий, ориентированных на инновационные технологии.

Формирование единой инновационной инфраструктуры во Владимирской области началось с образования отдела науки при администрации области и создания Владимирского инновационно-технологического центра. Развитие инноваций ведет к созданию специализированных предприятий, оказывающих услуги в инновационной сфере. Выход на рынок с инновационным продуктом – это сложный и трудоемкий процесс, требующий от малых и средних инновационных предприятий привлечения значительных ресурсов. В настоящее время организацию производства и продажу технологий предприятиям помогают выполнять Комитет по промышленной политике и науке администрации Владимирской области и Управление промышленности, предпринимательства и инвестиций администрации г. Владимира. Процесс, посредством которого новая идея, разработка или технология превраща-

ются в коммерческий продукт, обеспеченный платежеспособным спросом, принято обозначать термином «трансфер технологий» [2]. Организаторами поиска партнеров и передачи технологии от владельца промышленному предприятию выступают центры технологического трансфера. Работа центров требует профессиональной подготовки по вопросам работы с патентами, оценке объектов интеллектуальной собственности, составлению лицензионных соглашений. Следовательно, объединённая работа инновационных предприятий в области передачи технологий должна привести к созданию регионального центра технологического трансфера.

У большинства инновационных предприятий отсутствует собственная дорогостоящая исследовательская и экспериментальная база, а также программное обеспечение, необходимые для проведения изыскательских работ. Поэтому научные исследования и испытания проводятся не в полном объеме, что отражается на качестве продукции и контроле ее параметров. В связи с этим предлагается создание центров совместного пользования оборудованием различными инновационными предприятиями, которые позволят снизить затраты на НИОКР и значительно увеличить их объём.

Недостаток научных кадров предлагается покрывать за счёт привлечения в штат инновационных организаций молодых специалистов высших учебных заведений, предоставления им опытного оборудования, грантов и внедрения их разработок в производственный процесс.

Основным источником финансирования большинства инновационных проектов во Владимирской области остается государство. Спрос со стороны частных предприятий на инновации недостаточен для активного развития исследовательских предприятий. Основной причиной низкого уровня инвестиций в инновационную сферу является

высокий риск инновационной деятельности и слишком большой срок окупаемости. Инвестиции частных организаций в инновации направлены чаще всего на укрепление лидирующих позиций в отрасли, либо переориентацию производства. Темпы роста объёмов инвестиций венчурных фирм незначительны, что объясняется низкой ликвидностью инновационных организаций. Банковские кредиты недоступны многим инновационным предприятиям из-за низкого уровня залогового обеспечения. В связи с этим учёным и инновационным предприятиям Владимирской области необходимо взаимодействовать с различными фондами содействия развитию малому бизнесу и исследовательским организациям.

Как уже было сказано, одной из главных проблем развития инновационной деятельности в настоящее время является отсутствие связей между основными участниками инновационного процесса, информационная непрозрачность и низкая мотивация к разработке, финансированию и коммерциализации инноваций. Следует заметить, что эффективность инновационных процессов зависит не только от деятельности их участников, но и от того, как эти участники взаимодействуют друг с другом в качестве элементов инфраструктуры.

Рассматривая иерархические структуры, необходимо отметить, что им свойственна низкая степень гибкости, закрытость и низкий уровень обязательств между элементами, здесь используются стандартные средства связи и административные методы управления, в связи с этим механизм традиционного управления оказывается неработоспособным для инновационной инфраструктуры.

В условиях сетевой организации иерархия превращается в цепочку заказов на создание и разработку новаций, их производство и поставку, а также развитие взаимоотношений между организациями. Система

управления в виде сети позволяет взаимодействие элементов даже при их широком рассредоточении по региону, за счёт использования инновационных технологий. В рамках сетевой структуры достигается компетентность исполнения за счёт того, что к решению тех или иных задач привлекаются лучшие партнеры-исполнители, снижает вероятность использования второстепенных исполнителей. Система управления в форме сети исключает дублирование функций на разных участках, что позволяет избегать высоких совокупных затрат на производство конечной продукции, и обеспечивает эффективную рациональную структуру издержек. Создание сетевой структуры призвано обеспечить благоприятные условия для высокоэффективного развития инновационной инфраструктуры, стимулировать совместный рост всех её участников.

Исходя из вышесказанного, для управления инновационной инфраструктурой Владимирской области предлагается создание именно сетевой модели, элементами которой должны стать инновационные предприятия, центры технологического трансфера и совместного пользования оборудованием, научно-исследовательские сектора (учёные) вузов, фонды развития предпринимательства, потребители инноваций, а также Владимирский инновационно-технологический центр в виде управляющего субъекта. Предлагаемая форма организации взаимодействия поддержит активизацию инновационной деятельности всех объектов хозяйствования и направит её на решение первоочередных задач развития региона с учетом реальной оценки его инновационного потенциала.

### **Литература**

1. *Лафта, Дж. К.* Теория организации/ Дж. К. Лафта – М. : ТК Велби: – Изд. Проспект, 2003.
2. <http://www.uctt.ru>.

**В.А. Зобков**

## **ОТНОШЕНИЕ К УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИЧНОСТИ УЧАЩЕГОСЯ**

Образование – важнейший стратегический ресурс развития общества. В Законах РФ «Об образовании», «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», «Национальной доктрине образования в РФ» указывается на необходимость подготовки специалистов на уровне мировых стандартов, способных целенаправленно осуществлять процесс самообразования. В.В. Путин, выступая на VII съезде Российского союза ректоров вузов, указывал, что «нельзя дать ребенку образование однажды и на всю жизнь, и уже мало даже учиться всю жизнь, приходится учить учиться, только так мы сможем обеспечить опережающее развитие образования».

Современный этап развития нашего общества предъявляет повышенные требования к личности учащегося, молодого человека, социальная активность которого должна быть направлена не только на усвоение знаний, формирование умений и навыков, а в большей мере на формирование субъектных качеств личности: самостоятельности, инициативности, сознательного и ответственного выбора способов мышления и действия, целесообразности своего существования. Можно говорить о том, что роль личности, её самосознания в современных социально-экономических условиях, в общественных процессах возрастает.

Личность проявляет себя в деятельности, которая является специфическим способом существования человеческого бытия, в отношении человека к общественным процессам. Происходящие в общественной жизни изменения создают такие условия, когда молодому человеку приходится выбирать свои жизненные ориентиры, определять свое от-

ношение к действительности и свое место в ней, становиться посредством осознанной активности творцом своей судьбы.

Современная социальная действительность требует воспитания такой молодежи, которая умеет самостоятельно мыслить, которая способна ставить и понимать задачу, может идти успешно к её разрешению без постоянного систематического контроля на каждом шагу, может осознавать свою ответственность за результаты своей деятельности.

Социальная сознательная активность свойственна субъекту учебной деятельности, где имеет место самоорганизация, саморегуляция, проявления вышеназванных субъектных качеств, что обеспечивает субъекту возможность разрешения существующих и возникающих противоречий адекватно приемлемым способом. «Субъект, – по высказыванию А.В. Брушлинского, – это человек на высшем уровне активности, целеустремленности (системности), автономности и т.д.». Субъектная позиция, как показывают наши исследования, свойственна молодежи с социально-адекватным типом отношения, в структуре которого доминируют деловая коллективистическая мотивация, адекватная или адекватно высокая самооценка, субъектные качества личности, обеспечивающие положительные субъект-объектные взаимодействия и субъект-субъектные взаимоотношения. Для такой молодежи свойственен стиль позитивной активности, проявляемый в «творческом познании и преобразовании среды, деятельности и самого себя».

В этой связи особую актуальность приобретает психология отношений, обосновывающая важность решения задач формиро-

вания субъекта деятельности, развитие человеческого потенциала как сложной системы физических сил и психических свойств человека, обеспечивающих повышение качества жизни человека.

Психологи и педагоги отмечают необходимость улучшения образовательно-воспитательного пространства, в котором бы личность ребенка, учащегося развивалась в созидательном направлении, формируя навыки самообучения, самооценки, саморазвития.

Почему возникает предложение по улучшению образовательно-воспитательного пространства, по повышению качества образовательных услуг, итогом которых была бы личность учащегося – будущего специалиста как субъекта деятельности? Это связано с тем, что в современных образовательных условиях учащихся, отвечающих требованиям субъектности, мало.

Наши исследования показывают, что в настоящее время среди учащейся молодежи людей с активной жизненной позицией, социально-адекватным типом отношения к деятельности и жизнедеятельности в целом около 10 %. О таких людях хорошо сказал выдающийся отечественный психолог С.Л. Рубинштейн: «Человек есть индивидуальность в силу наличия у него особенных, единичных, неповторимых свойств, человек есть личность в силу того, что он сознательно определяет свое отношение к окружающему. Человек есть личность, когда у него свое лицо. Человек есть в максимальной мере личность, когда в нем минимум нейтральности, безразличия, равнодушия, максимум «партийности» по отношению ко всему общественно значимому. Поэтому для человека как личности такое фундаментальное значение имеет сознание, не только знание, но и как отношение. Без сознания, без способности занять определенную позицию нет личности». Эти слова С.Л. Рубинштейна актуальны и сейчас, когда так остро стоит

вопрос о формировании личности с творческой направленностью, для которой была бы характерна самостоятельность, инициативность, активная жизненная позиция, социально-адекватный тип отношения к деятельности.

Отношение человека к деятельности – это внешне проявляемые и внешне наблюдаемые действия и поступки, которые обусловлены внутренним содержанием личности, «совокупностью внутренних условий». Отношение – это тот объективно-субъективный показатель, нарушение которого связано с деформациями жизнедеятельности организма, и личности. В категорию «отношения» включаются все связи человека – и с тем, что вне его, и с тем, что внутри. Отношения быстрее и легче диагностируются посредством внешне наблюдаемых объективно-психологических проявлений (черт), к которым следует отнести дисциплинированность, организованность, ответственность, познавательная активность, самостоятельность и другие черты. Преимущество такой диагностики в том, что оно может быть в принципе замерено по параметру степени выраженности по балльной системе оценок. Глубокий анализ объективных связей позволяет выявить положительные или отрицательные отношения личности к различным сторонам действительности, процессу, условиям деятельности, иначе, как указывал В.Н. Мясищев, функциональный механизм отношений не представляется и анализ будет поверхностным и неправильным. Об отношениях человека как и о личности в целом, можно объективно судить только по действиям, поступкам, поведению. Они представляют факты связи человека, как субъекта с объективной действительностью в её многообразии. Личность, формируясь в общении и практической деятельности, проявляется на практике, в деятельности. Отношения человека вытекают из воздействий внешнего мира и раскрываются прежде все-

го при изучении человека в процессе учебно-трудовой, производственно-трудовой и общественной деятельности.

Социально-адекватный тип отношения к деятельности. Что это за тип отношения, каково его содержание? Сошлюсь также на результаты наших исследований.

Эффективные и надежные результаты деятельности достигаются личностью тогда, когда в ее системно-структурной организации доминирует деловая просоциальная мотивация, когда сформирована адекватная самооценка и когда в системе качеств личности ведущую роль играют интеллектуально-волевые и морально-нравственные качества, когда личность равнодушна к происходящему. Вот такая система свойств и качеств личности свойственна людям с социально-адекватным типом отношения к деятельности.

Названная система свойств (мотивация, самооценка) и качеств (черт) и есть «совокупность внутренних условий, через которые преломляются все внешние воздействия» (С.Л. Рубинштейн). Эти внутренние условия сами, в свою очередь, формировались в процессе «внешних взаимодействий».

Система свойств и качеств (черт) личности как характеристика внутреннего мира человека, определяет не только характер, стиль субъект-субъектных и субъект-объектных взаимодействий, но и результат этих взаимодействий, оказывает ведущее влияние на успехи в деятельности, в целом в жизнедеятельности. Мотивы делового, коллективистского содержания, адекватная самооценка обуславливают активность личности в социальных условиях деятельности. Ведущие мотивы, занимающие главенствующее положение в мотивационной иерархии, окрашивают, как отмечал С.Л. Рубинштейн, «в свой цвет другие мотивы». Эти мотивы и являются смыслообразующими мотивами поведения и деятельности человека.

Отмечу, что для большинства молодых людей свойственно социально-неадекватное отношение к деятельности, в структуре которого доминируют лично-престижные мотивы, неадекватные формы самооценки. Специфическое сочетание внутренних условий находит своё проявление в субъект-объектных взаимодействиях, снижая эффективность и надежность результатов деятельности и внося в субъект-субъектные взаимоотношения коллизии. При социально-неадекватном типе отношения важен не только диагноз, но и прогноз развития, а также коррекция отрицательных свойств и качеств личности.

В настоящее время значительно возросло количество молодых людей с психастеническим типом акцентуации характера. Если 25-35 лет назад по данным А.Е. Тичко в популяции здоровых подростков психастеников встречался лишь 1 %, то в современных социальных условиях их количество увеличилось до 16 %.

Что характерно для таких молодых людей? Это нерешительные, тревожные, с тенденцией переживания страха, мнительные подростки, молодые люди. Они любят заниматься самоанализом, который переходит в самокопание, мудрствование о себе. Нерешительность у них проявляется при необходимости сделать вывод. Они не любят перемен обстановки, новых предметов, опасаются незнакомых людей. Склонны к интеллектуальным или эстетическим увлечениям. Пытаются придать себе уверенность придуманными приметами и ритуалами. Компенсаторными характеристиками типа выступают педантизм, формализм, самоуверенность, психологическая защита, безапелляционность.

Такой молодежи сложно определиться и проявить себя в свойственном данному типу интеллектуальном или эстетическом увлечении среди несерьезных шоу, жутких боевиков, цинизма и т.п. Многие из таких под-



ростков уходят в мир Интернета, который, к сожалению, акцентирует их еще больше.

Мы не сможем организовать достойную жизнь, быть демократическим обществом, пока не перестроим собственную психологию, в которой бы доминировали составляющие социально-адекватного типа отношения человека к деятельности. И поэтому был прав Л.Н. Толстой, когда в одном из своих обращений к русским людям говорил: «Для того, чтобы положение людей стало лучше, надо, чтобы сами люди стали лучше. Для того же, чтобы люди становились лучше, надо, чтобы они все больше и больше внимания обращали на себя, на свою внутреннюю жизнь». Вероятно, единственное условие для этого – желание каждого члена общества не только хорошо жить, но и постоянно, каждодневно работать над собой, над своим собственным самосовершенствованием в сфере деловых и нравственных качеств.

Замечу, что, как раньше, до социально-экономических преобразований в обществе, так и сейчас больше всего в человеке ценится исполнительность, послушание, конформность, безличность. Эти качества, к сожалению, воспроизводятся в семье, школе, вузе, находят отражение в сознании и поведении растущего человека. Считаю, что обучение в школе и вузе должно опираться на принципы целесообразности, диалогичности, активности позитивных высказываний и суждений, самостоятельности, системности и научности. Это обеспечит формирующейся личности возможность взглянуть на ситуацию с разных точек зрения, проводить рефлексивный анализ, развивать самостоятельность и инициативность, и другие позитивные качества, характеризующие личность с активной жизненной позицией, с социально-адекватным типом отношения к деятельности.

Воспитание личности начинается в семье. Все мы родом из детства. Родители, взаимо-

отношения в семье выступают определенным эталоном поведения ребенка. Ребенок строит свою личность самостоятельно, используя в качестве основы личность близких ему людей. Какова основа, какие устои в семье – такова, как правило, и личность ребенка. Поступки – это не только то, что мы делаем. Это еще и то, что делает нас. Если ребенок окружен со всех сторон принуждениями и понуканиями, то совершить самостоятельный поступок потом невозможно.

Уделяется ли должное внимание воспитанию детей в семье в современных условиях? Вероятно, нет. Родители, как правило, с утра до вечера заняты на работе в одном месте, совмещая в другом, третьем. И все это для того, чтобы жить, по их мнению, безбедно, чтобы ребенок не выглядел внешне хуже, чем другие дети. Ориентация родителей идет на внешние характеристики жизни, а не на внутреннее содержание ребенка. На формирование у ребенка понятий, связанных с честью, совестью и т.п., у родителей нет времени. Детско-родительские отношения во многих семьях нарушены, что непосредственно сказывается на физическом и психическом здоровье ребенка. Дети, как правило, значительную часть свободного времени проводят за просмотром по телевидению различного рода фильмов, наполненных сценами насилия и жестокости. Наблюдение за подростками и взрослыми показывает, что люди, смотрящие телевизор не менее четырех часов в день, более уязвимы для агрессии со стороны других и считают мир более опасным, чем те, кто проводит у телевизора и за компьютером два часа в день или меньше. Имеются также данные, что дети смотрят телевизионные программы около 20-30 часов в неделю, т.е. проводят перед телевизором больше времени, чем в классе. К шестнадцатилетнему возрасту средний телезритель, вероятно, уже видел порядка 13 тыс. убийств и множество других актов насилия.

Какое же социальное поведение моделируется в результате такого поглощения телевизионных программ? Исходя из приведенной статистики, можно заключить, что просмотр насилия содействует агрессии, по крайней мере косвенно, а напрямую ведет к формированию деструктивной личности с невротическими проявлениями, к межличностным проблемам. Кроме того, просмотр насилия снижает чувствительность зрителей к агрессии, ослабляет сдерживающие силы и изменяет восприятие действительности. Наблюдение насилия активизирует мысли, связанные с ним, программируя зрителя на агрессивное поведение, вызывает подражание, растормаживает поведение, приводит к «затуханию» эмоциональных реакций на насилие.

Что произойдет, если несколько раз повторить какой-либо эмоционально возбуждающий стимул, например неприличное слово? Согласно законам психики, эмоциональная реакция на первоначально возбуждающий стимул со временем будет «затухать», делая наблюдателя безразличным к данному факту в будущем.

Сознание большинства родителей занято тем, чтобы где-то заработать больше денег, как выучить детей, как приобрести жилье для детей и т.п. Это трудно разрешимые проблемы для многих взрослых россиян, что, в конечном итоге, приводит их к невротическому состоянию.

Длительное проживание родителей и взрослеющих детей в малогабаритных квартирах также приводит к формированию личности с невротическим складом. Это, можно сказать, проявление «инцеста» на психологическом уровне, объясняющегося тем, что дети долгое время находятся возле матери, в своей семье. Оставаясь в кругу своей семьи и передавая заботу о себе кому-то другому, ребенок, по большому счету, никогда не сможет стать полностью взрослым, имеющим силы и мужество брать на себя ответст-

венность за собственную судьбу. Следствием всего этого является вырождение нравственности.

Для того, чтобы воспитать личность с социально-адекватным типом отношения к деятельности, важно воспитывать с детских лет аккуратность, любознательность, отзывчивость, ответственность. На базе этих качеств (черт) в дальнейшем будут формироваться другие позитивные качества: самостоятельность, инициативность, творческая активность и др., а также адекватная самооценка и деловая просоциальная мотивация. Полагаю, что необходимо включить в режим учебных занятий учащейся молодежи факультативные занятия по дисциплине «психология семьи».

Именно в семье начинают формироваться моральные ценности, основные принципы и нормы поведения человека. Первые уроки нравственности, как известно, наиболее эффективны. Формирует ли современная семья личность ребенка с социально-адекватным типом отношения к деятельности, морально устойчивую? В значительной части, вероятно, нет. Это, наверное, следует сказать также и о школе, средних и высших специальных образовательных учреждениях.

В подтверждение вышесказанного сошлюсь на результаты Международного тестирования, организованного TIMSS – R: выпускники вузов в нашей стране имеют низкие показатели по умению анализировать и применять знания на практике, освоение ими учебного материала происходит без должной переработки, на основе «готового» знания, сообщенного преподавателем, без самостоятельной работы по целостному представлению информации.

Отдельные педагоги считают, и с этим можно согласиться, что наши университеты превратились «в высшую среднюю школу», так как у большинства студентов нет интереса к учению. Студенты старших курсов учатся в университете так, как будто про-

должают учебу в школе – под влиянием мотива – стимула (внешней мотивации), продолжают учиться в большей степени не для становления себя как профессионала, а для получения диплома, для усвоения «готового знания».

Студенты, привыкнув действовать «по указке», в дальнейшем, в условиях свободы выбора, проявляют, как правило, несамостоятельность, безынициативность, не могут сформировать программу деятельности, ориентировочную основу действий, процесс самообучения.

Это насущная проблема обучения и воспитания и решать ее следует неотложно.

Подчеркну еще раз, что отношение человека к деятельности – тот объективно-субъективный показатель, нарушение которого связано с деформациями жизнедеятельности организма, и личности. Из нарушений взаимодействий и взаимоотношений личности с окружающей действительностью, общественной деятельностью рождается болезнь её развития – невроз как сложный продукт влияния социальной среды и одновременно продукт индивидуального развития в условиях этой среды.

Под неврозом В.Н. Мясищев понимал своеобразное нарушение функций, как и для всякой болезни, «но для невроза, как болезни личности, исходным и определяющим является нарушение отношений, а из этих нарушенных отношений вытекает нарушение переработки, расстройство функций, но в свою очередь, нарушение функций является источником ряда нарушенных взаимоотношений, ряда конфликтов с действительностью».

В.Н. Мясищев выдвигает и обосновывает тот ключевой для психотерапевтической практики тезис, что личность определяет её отношения к людям, являющиеся одновременно взаимоотношениями. Тем самым субъективные отношения, отчетливо проявляясь в поступках и действиях, обнаружива-

ют свою объективность, а индивидуально психологическое становится социально психологическим.

Коррекция нарушений как соматики, так и психики, а также управление формированием личности и её воспитанием возможны посредством целенаправленного воздействия как на внутренние составляющие структуры неадекватных форм отношения: лично-престижную мотивацию, неадекватные формы самооценки, нецелесообразно организованные качества личности, так и на внешние стороны отношения: недисциплинированность, безответственность и т.п.

На мой взгляд коррекцию неадекватных форм отношения человека к деятельности следует начинать с внешне наблюдаемых и объективно проявляемых черт личности человека, которые будут влиять и постепенно переформировывать внутреннее содержание личности.

Социально-адекватный тип отношения к деятельности, как и социально-неадекватный – начинают складываться в переходный период от младшего школьного к подростковому возрасту, когда активно формируется самосознание учащегося и, в частности, самооценка. Развитые формы отношения складываются в юношеском возрасте.

Считаю, что значительную роль в преодолении системного кризиса в современных условиях России по формированию личности молодого человека с социально-адекватным типом отношения к деятельности должны сыграть общественные молодежные организации. Именно в них можно воспитать ту молодежь, которая будет отвечать требованиям современного российского общества.

Замечу, что для перехода возможностей, заложенных во внутреннем потенциале молодежи, в активно-действенное состояние необходима его актуализация, которая может осуществляться в процессе включения её (молодежи) в различные виды общественно-

полезной деятельности. Общественные молодежные организации должны входить в структуру учебных заведений. Общественно активная часть молодежи может организовать и направить деятельность организации по социально нужному пути. Молодежи следует доверять. У неё много позитивной внутренней энергии, которую надо направить на решение важных социальных про-

блем, в нужное для общества русло. Включение личности в различные виды общественно полезной деятельности, в систему общественных отношений будет позитивно влиять на формирование мотивационно-смысловой сферы молодежи, адекватной (адекватно-высокой) самооценки, на формирование личности с социально адекватным типом отношения к деятельности.

**Л.А. Чалая Л. А.**

### **РОЛЬ ДОГОВОРА В РАЗВИТИИ ОБЩЕСТВА И ГОСУДАРСТВА: ИСТОРИКО-ПРАВОВОЙ АНАЛИЗ**

Проблемы прав человека, построение правового государства на сегодняшний день являются не только актуальными, но и наиболее обсуждаемыми. Однако, чем больше дискутируют по этому поводу, тем больше трудностей возникает в процессе их реализации. Более того, большинство юристов приходят к мнению, что в современном обществе законодательное правоприменение зачастую и недоступно, и безрезультатно, ибо оно не способствует развитию свободы личности в целом. Создаются законы, где теряется сам человек, его возможности и интересы.

Сложность XXI века еще заключается и в увеличении нормативно-правового материала, отличающегося противоречивостью, невозможностью учесть, понять, исполнить, что в итоге приводит к правовому нигилизму не только граждан, но и самих юристов, т.е. происходит отчуждение закона от конкретного человека.

Еще более сложными являются отношения по исполнению взаимных обязанностей. Все это свидетельствует о нестабильности государства и общества, в том числе и самой демократии, где одной из главных проблем является различное ее понимание в соответствии с человеческими измерениями [1].

Одним из важнейших институтов, способствующих развитию правового государ-

ства, являются договоры. Именно через договорные отношения происходит стимулирование к саморегуляции поведения и деятельности человека в целом, а потому в современных условиях наблюдается возрастание удельного веса договоров во всех сферах общественной и частной жизни. Таким образом, проблема договоров приобретает особую актуальность и требует нового осмысления и подходов. Отсюда, если в советский период считалось аксиомой, что само правотворчество есть прерогатива государства и право возникает как результат действий государственных органов, то теперь все большее число юристов склонны считать, что по своей силе право имеет и социальное происхождение, и признают существование нормативных договоров.

В силу того, что одним из субъективных элементов договора есть наличие свободы воли и волеизъявления – именно в этом можно видеть смысл нормативного договора как публичного соглашения граждан, слоев, наций, организаций, общества в целом. Согласительный характер договора как правового акта решающим образом повлиял на широкое распространение договорного регулирования общественных отношений. В заключении договора можно видеть не только свободное волеу согласование, но и волеуправление. Благодаря этим особенностям до-

говоры служат для разрешения социальных конфликтов, для конструктивного взаимодействия, а значит и сохранения единства общества. Еще в XVII веке известный пуританин Айстрон (1674 г.) писал: «Мы должны соблюдать завет (имеется ввиду соглашение – Л.Ч.) друг с другом, когда мы принимаем друг перед другом обязательства. Отвергните этот принцип, и воцарится хаос». Об истоках общего договорного права, в том числе и религиозных, мы находим интересный материал в работах современного западного исследователя этой проблемы Гарольда Бермана «Западная традиция права», «Вера и закон: примирение права и религии».

В русской правовой школе на существование нормативных договоров указывал еще Василий Федорович Тарановский (XIX в.) [2]. Согласно его концепции, существуют частные договоры и нормативные. Последние обладают следующими признаками: а) договаривающиеся стороны стремятся к единой цели – установлению юридической нормы; б) мотив у договаривающихся сторон один и тот же – наличие потребности в такой форме; в) договор такого типа создает юридическую норму.

В настоящее время, как уже отмечалось выше, идея выделения договоров нормативного характера получает дальнейшее развитие, как некий императив, защищающий справедливый порядок государства, как форма самоорганизации общества и совокупность регуляторов.

По своей функционально-содержательной природе, кроме нормативных договоров, выделяют индивидуальные.

Индивидуальные договоры в современных условиях приобретают особое значение в частноправовых отношениях. Однако не следует забывать, что существующая форма договоров есть результат многовекового исторического развития как самого договора, так и общества в целом.

Различные формы общения между людьми выдвинули у них потребность в рамках законодательных норм вступать по собственной воле в определенные отношения и самим создавать правовые модели, которыми и являются договоры. Последние с древнейших времен претерпевали изменения, в результате чего создается основная правовая конструкция договоров, существующая до настоящего времени.

Следует заметить, что элементы этой конструкции складывались постепенно, о чем свидетельствуют первые законодательные документы, такие как Законы Хаммурапи Вавилона, Законы Ману Древней Индии и др. Само понятие «сделка» встречается впервые в Законах Ману (гл. VIII, ст. 53), разрабатываются и те условия, которым непременно должен отвечать договор: дееспособность контрагентов (гл. VIII, ст. 148, 163), изъявление воли сторон (гл. VIII, ст. 165), публичность и законность (гл. VIII, ст. 165). Практически все виды договоров имели место в древнейшем праве, что свидетельствует о многообразии и сложности отношений в обществе, а это в свою очередь исключает версии о его «примитивности».

Взгляд на римское право как на единственное разработчика структуры договорных отношений не совсем верен. Римским же юристам удалось выделить основные достижения других народов и на их основе разработать принципиально новые институты договорного права, которые впоследствии рецепировались различными государствами позднейших эпох. Римское право обозначило структуру всей системы договорных отношений, проводя четкую классификацию на основные *defenicio* каждого отдельного вида договоров – *contractus* – дозволенная сделка, признанная гражданским правом. Для *contractus* характерен как объективный эле-

мент (causa), т.е. дозволенная правом экономическая цель, которую преследуют стороны, так и субъективный элемент (conventio, contractus, pactio) – взаимное и согласное проявление воли сторон относительно одной и той же цели [3].

Гибкость римского права, разрабатывающего все казусы частноправовых отношений, позволила ему быть тем источником, где юристы последующих эпох могли использовать подходы и методику для разрешения современных проблем.

Именно это использовали канонисты средневековья в переделке и реконструкции договорного права, приспособивая его к новым экономическим отношениям. Однако канонистам принадлежит заслуга дальнейшего развития теории договорного права, и прежде всего, принципа справедливости, например, цены. Считалось нормой справедливой цена – это общепринятая или рыночная, которая могла варьироваться в зависимости от времени, места. Другая проблема, поставленная канонистами, – о справедливости получения прибыли, в том числе и в ростовщичестве. Осуждалась «постыдная прибыль», связанная с корыстолюбием в деловой практике. Таким образом, для канонистов доктрина справедливости в договоре стала, по существу, и нормой о бессовестности, нормой против вредных сделок, нормой о нечестной конкуренции, направленной против нарушений правил рынка [4]. Важную роль в период феодализма приобретает договор аренды, который, как правило, был бессрочным, что приводило к «отвердеванию» возникающих отношений, т.е. оформлению феодальной зависимости, что, в целом, и определяло сущность феодального уклада во всех сферах общества.

Свои коррективы в развитии договорного права вносят буржуазные революции. Утверждается принцип стабильности договора, свобода его заключения, полное господство над вещью, вводится закон, по которому

совершеннолетний не мог требовать реституции даже ввиду убыточности сделки. Изменения, коснувшиеся договора найма, займа отбрасывают всю сложность и проблематичность перехода к буржуазным отношениям в обязательственном праве.

Чрезвычайно сложен и противоречив опыт развития в рамках договорного права оформления акционерных компаний Англии (Законы 1820, 1844, 1856 гг.) и Франции (ГК Наполеона 1804 г., Торговый кодекс 1807 г., о товариществах 1807 г.). Важное место в этом историческом аспекте приобретает «антимонополистический» закон Шермана 1890 г. США.

Отечественный опыт изучения истории договорного права свидетельствует о своеобразии и сложности его развития. Не отрицая самобытности гражданского законодательства России, вслед за известными цивилистами, следует отметить, что в определенные периоды истории российского права обнаруживаются следы римского влияния. Да его и не могло не быть, в силу древних торговых связей Руси с Византией, Новгорода с ганзейскими купцами и т.д.

Общий взгляд на развитие договорного права по отечественным законодательным документам обнаруживает следующую эволюционную картину договора: Русская Правда разработала регламентацию всех основных видов договоров, далее форму обеспечения – Псковская судная грамота, Судебники 1497, 1550 гг., Соборное Уложение 1649 г. зафиксировали развитие обязательственного права XVII – XVIII вв. по нескольким направлениям:

1) установление возрастного ценза, когда лицо было вправе вступать в хозяйственный оборот – 15 лет;

2) установление контроля при заключении большинства сделок с недвижимостью (так в указе 1620 г. установлены «твердые цены» на стоимость вещей по претензиям кредиторов;

3) ответственность по обязательствам;

4) сужение прав церкви на совершение сделок с недвижимостью.

Социально-экономические процессы, связанные с началом образования всероссийского рынка и включением его в систему мировой торговли, привели к принятию важного законодательного документа Новоторгового устава 1667 г. Появлению Устава предшествовало заявление торговых людей, главным образом купечества, правительству с целью ограничения прав иностранных купцов в России. В результате этого в 1646 г. отменяется беспошлинная торговля англичан, а с 1649 г. английским купцам разрешается торговать только в Астрахани. Новоторговый Устав отразил эпоху, когда в недрах феодальной экономики России, путем оптовой торговли, складывались крупные капиталы.

Свод законов российской империи содержал уже специальный раздел о состоянии, совершении, исполнении и прекращении договоров. Здесь определялись условия законности договоров, перечень имущества, изъятого из оборота, устанавливался возраст лиц, способных вступать в сделки и границы правомочий субъектов обязательств. Во второй половине XIX в. все изменения, происходившие в России, связаны с отменой крепостного права, когда освободившиеся, но экономически нуждающиеся крестьяне, включались в процесс хозяйственного оборота. С 80-х годов XIX в. государство берет на себя роль арбитра в договорных отношениях. Создаются фабрично-заводские инспекции для контроля за соблюдением фабрично-заводского законодательства. В 1879 г. была сделана попытка ограничить займы под %, но под давлением буржуазии уже в 1893 г. они были подняты до 12 %. Чтобы оградить крестьян от спекулянтско-скупщиков, была введена уголовная ответственность за покупку у крестьян хлеба по заведомо низкой цене.

Таким образом, в результате исторического развития сложились основные принципы действия обязательств из договоров: 1) устанавливалась свобода воли сторон; 2) сторонам предоставлялось право включать в договоры любые условия, но в рамках закона; 3) незыблемость договора, пока стороны не пожелают его расторгнуть; 4) обязательное исполнение договора в соответствии с условиями или законом; 5) установление дееспособности с 21 года.

Дальнейшие коренные изменения в договорном праве связаны с периодом советской власти. Его формирование одновременно шло с развитием общественных отношений и государственности.

Исследователи выделяют три основных этапа:

1) 1917-1927 гг. – переходный;

2) с середины 1930-х гг. до 50 - начала 60-х гг. XX в. – укрепление и развитие социализма;

3) от 60-х гг. до 1990 г. – объявленный период развитого социализма [5].

Характерной чертой этого времени было введение государственной собственности и распространение административно-правового регулирования практически всех отношений, в том числе и договорных. Государство старалось поддерживать стабильность договоров. Они считались основным средством организации и осуществления хозяйственных связей как в отношениях между социалистическими организациями, так и между последними и государством. Отсюда особо, важное значение приобретает договор поставки. Из договоров с участием граждан был распространен договор найма жилых помещений и купля-продажа продуктов, полученных с приусадебных участков или вещей сделанных своими руками.

Таким образом, краткий исторический экскурс демонстрирует, что именно обязательственное право во все времена в наибольшей степени чувствительно даже к са-

мым незначительным общественным изменениям. Оно более динамично по сравнению с другими отраслями права, а потому более адекватно отражает новые тенденции социальных процессов, способствует развитию плюрализма права, что и характеризует государство как правовое. Анализ обязательственного права отдельных народов на определенных этапах их развития позволяет сделать ряд выводов:

1) о правовой системе в целом и об эволюции права в частности;

2) учитывая, что право тесно вплетено во все сферы человеческой жизни, то, исследуя становление договорных отношений, мы вправе рассчитывать на новую информацию о государственности той или иной страны, ее экономики, культуры и т.д.;

3) через осмысление истоков развития разного вида сделок, условий и форм их заключения и расторжения и т.д. возможна более эффективная реализация принципов современного гражданского права. Тем более, что гражданское право, в том числе договорное право XXI в. не может рассматриваться обособленно, изолированно – это единый исторический процесс, где новый XXI в. – один из очередных этапов.

**Е.И. Аринин**

### **ПОНЯТИЕ «СВЕТСКОСТИ» И ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РЕЛИГИИ**

Сегодня в обществе, научных изданиях, богословской литературе и СМИ активно обсуждается проблема светскости современного государственного образования. Сам термин «светский» входит в текст Конституции Российской Федерации, статья 14.1, которой гласит, что «Российская Федерация – светское государство. Никакая религия не может устанавливаться в качестве государственной или обязательной» [1]. Вместе с тем понятие «светский» остается предметом острых дискуссий, в связи с чем необходимо

### **Литература**

1. Есть мнение, что применение понятия стабильности к государству характеризует его как неменяющееся, застывшее. Думается, что такое мнение есть ошибочное, ибо стабильность – устойчивость, приведение в устойчивое состояние, поддержание постоянства каких-то величин, равномерность, ритмичность. Словарь иностранных слов. – М.: Рус. язык. – 1981. – С. 480.

2. *Тарановский, В. Ф.* Учебник энциклопедии права. М., 1973. – С.180.

3. *Бартошек, М.* Римское право (понятия, термины, определения). М., 1989. – С. 90.

4. *Берман, Г. Дж.* Западная традиция права: эпоха формирования. М., 1994. – С. 237.

5. *Мозолин, В. П., Фарнсворт, Е. А.* Договорное право в США и СССР. История и общие конструкции. М., 1988. – С. 218.

обратиться к анализу того, что же понимается под «светскостью» в общепризнанной справочной литературе.

Термин «светский» (секулярный, секуляризм) широко используется в современной литературе, однако даже поверхностное исследование выявляет факт смешения в его рамках совершенно различных понятий. В новейшем энциклопедическом словаре «Религиоведение» (2006) М.О. Шахов отмечает, что «католического или православного монарха... было принято именовать «светской



властью» в отличие от церковных властей, церковной иерархии» [2], при этом, понятно, что эти монархи были верующими и воцерковленными христианами. Ф.Г.Овсиенко в том же словаре пишет, что первоначальным значением термина «секуляризация» было «отчуждение церковной собственности... в пользу государства» [3], т.е., термин «светскость» (секулярность) первоначально обозначал не отсутствие религиозности или «воцерковленности», но именно непосредственную принадлежность к сфере собственно государственной власти и мирских интересов. Этот термин в современной богословской литературе и сегодня может обозначать именно «социально-политическое служение верующего», его участие «в формировании более человеческого общества» [4].

Русское слово «светский» в словаре В. Даля определялось как «ко свету (миру) в разных значениях относящийся, земной, мирской или гражданский», в противопоставление церковному (духовному) [5]. В советском словаре Ожегова, мы читаем, что это устарелое слово, обозначающее «1. Отвечающий понятиям и требованиям света (мира, человечества), принадлежащий, относящийся к свету. 2. Не церковный, мирской, гражданский, противоположное духовный (светское образование)» [6]. Термин «секуляризация» тогда же понимался как «обращение церковной и монастырской собственности в собственность светскую ... гражданскую; освобождение от церковного влияния (в общественной и умственной деятельности, в художественном творчестве)» [7]. Латинский термин «saecularis» восходит к делению европейской культуры на «мирское» как утилитарно-внецерковное (бытовое, обыденное, во многом нехристианское, языческое) и «религиозное», возвышенно-церковное, собственно христианское, проводимому Августином [8].

Августин (354 – 430) жил в переходную эпоху, когда христианство утверждалось как

государственный культ Римской империи. Оно противопоставлялось «секулярному» как язычеству политеистических культов, мирской жизни и государственной власти как церковное единство. Позднее, после утверждения христианства как государственной религии империи, «светское» стало обозначать мирскую (во многих элементах оставшуюся языческой, традиционной) сторону моноконфессионального (в идеале) общества, причем в исторической перспективе идеал «симфонии» отношений церкви и государства оборачивался «папоцезаризмом» или «цезарепапизмом».

В Новое время и эпоху Просвещения, особенно в XIX веке, термин получает новое значение как «освобождение от церковной опеки в умственной и общественной деятельности, обращение в художественном творчестве к светским сюжетам, подчинение жизни требованиям инстинктов человеческой природы, признание законными радостей земного существования и т.п.... Главным врагом секуляризации был клерикализм» [9]. Возникновение данного значения связано с переживаниями кошмаров межхристианских религиозных войн (католики - протестанты), политическим крушением Священной Римской империи и появлением в Европе независимых национальных государств, законодательство которых базировалось на «светских» гуманистических идеалах цивилизации «гражданского общества», где вопросы «церковной принадлежности» переходят из категории принудительно-государственных в частную и самоорганизующуюся сферу свободы выбора личного вероисповедания и локальных самоопределяющихся объединений.

В России этот процесс получил законодательное оформление 17 апреля 1905 г., когда был опубликован царский манифест «Об укреплении начал веротерпимости». Таким образом, во втором значении он стал обозначать сферу национально-политической

власти, политико-правовых институтов многоконфессионального государства, стоящую над конфессиями, законодательно регламентирующую нормы поведения их адептов именно как свободно самоопределяющихся (в том числе и путем удаления от всех конфессий) граждан многоконфессионального сообщества, территориальной общности. В этом значении «светский» уже обозначал как воцерковленных, так и невоцерковленных сограждан, фокусируясь на сфере общегражданских интересов населения.

Дальнейшее его развитие отражает драматические коллизии понимания «общегражданского» в XX веке. Совершенно специфичное значение этот термин получил в изданиях советского периода, где его трактовали как «процесс освобождения различных сфер общества ... от влияния религии. В социалистическом обществе социальные корни религии подорваны, и потому процесс секуляризации отличается глубиной, широтой и полнотой» [10]. Общегражданское (подлинно светское) понималось здесь как «социалистическое» (марксистско-ленинское, научно-этическое, воинственно-атеистическое). Врагами такого понимания секуляризации становились все «немарксистские» философские, религиозные и идеологические системы, где «освобождение от религии» не ставилось в качестве общественной цели, где не поддерживался известный тезис об «отмирании религии».

Такой секуляризм становился идеологией государственного «воинствующего атеизма». Таким образом, в данном специфическом контексте он стал обозначать сферу гражданской власти, политико-правовых институтов моноидеологического (марксистско-ленинского, воинственно-атеистического) государства, стоящую над конфессиями (природа которых трактовалась как пережитки прошлых варварских, эксплуататорских и отсталых эпох), законодательно регламентирующую нормы поведения их

адептов как свободно самоопределяющихся (прежде всего, через преодоление всех пережитков всех конфессий, «религии как таковой») граждан только временно многоконфессионального сообщества, территориальной общности.

Иное понимание проблемы сложилось на Западе, где, к примеру, у известного русского религиозного (православного) философа В.В. Зеньковского, жившего в эмиграции, мы читаем, что «секуляризм», светская установка, принимает две формы, первая из которых состоит в утверждении «свободы исследования, свободы философской научной мысли», тогда как вторая выступает за «принципиальное отвержение религиозной установки духа» [11]. Секуляризм признается особой идеологией в современных западных словарях [12]. Таким образом, в данном контексте он стал обозначать «общегражданское» как сферу свободно самоопределяющихся (прежде всего через критику и самокритику любых эксклюзивных традиций, в том числе и светских (эпохи Просвещения), через признание, что всей полнотой истины ни одна из них не владеет) граждан полиэтнического, поликонфессионального и многомировоззренческого (которым конституции гарантируют защиту их свобод: убеждений, совести, вероисповедания, слова и т.п.) государства как территориальной общности и субъекта международного права.

Секуляризм в таком контексте выступает как понятие, отражающее нормативное понимание «общегражданского», специфическую коллективную идеологию, отрицающую не столько «саму религиозную установку» (поскольку даже Конституция атеистического СССР гарантировала «право исповедовать любую религию или не исповедовать никакой, отправлять религиозные культы или вести атеистическую пропаганду» [13]), сколько эксклюзивистские претензии взаимоотрицающих христианских церквей на обладание полнотой истины и соответствующие властные полномочия.

В XX веке советско-атеистической или либерально-агностической формам секуляризма противопоставил себя германский нацизм, позиционировавший себя как возвращение к этнической «почве», оккультно-мифологическим корням «немецкого духа». Советский и немецкий варианты создавались как государственно-принудительные механизмы утверждения конкретных идеологий, неизбежно предполагающих подавление всякого инакомыслия, как церковного, так и секулярного, или, как писал В.В. Зеньковский, любой «свободы исследования, свободы философской научной мысли» [14]. Последние оказались наиболее полно реализованы в странах западной демократии, самоутверждавшихся как формы становящегося гражданского общества, гарантирующего гражданам свободу совести, где церкви считаются добровольными общественными объединениями, признающими конституционные нормы гражданского общества, этические требования и научные знания о мире.

В XX веке стало очевидно, что и этот идеальный тип общества глубоко противоречив и способен путем массового самоопределения породить собственные тоталитарные альтернативы (Россия после 1917 года и Германия после 1933). Марксистские и нацистские объединения представлены во всех современных государствах, поскольку те гарантируют свободу убеждений, объединяя протестные субкультуры и периодически привлекая к себе внимание СМИ в связи с разного рода правонарушениями и даже преступлениями. В XXI веке вновь наблюдается усиление религиозного фундаментализма, готового силой и террористическими акциями навязать всем собственное понимание «подлинной жизни».

Это вызывает необходимость вновь и вновь обращаться к проблемам самоопределения и совести, нормы и отклонения, свободы и принуждения, тесно связанных с фундаментальными вопросами соотношения

мифологии, религии и секуляризма, которые только в XIX веке виделись стадиями прогрессивного мировоззренческого развития человечества, а в XX веке были осмыслены Б. Малиновским как три элемента (магия – религия – наука) любых мировоззренческих форм [15]. Сегодня, с одной стороны, весь мир находится в ситуации «постмодерна», критикующего претензии на абсолютную власть и окончательную легитимность любых мировоззренческих систем, соответствующих образцов нормативности, всех «нарратив» и «метанарратив» [16]. В этом контексте подвергаются критике не только все формы «конфессионального эксклюзивизма» («клерикализма»), но и любые формы националистического, политического или идеологического эксклюзивизма. С другой стороны, каждое государство, вписываясь в нормы глобального цивилизационного процесса, создает механизмы поддержания гармоничных межконфессиональных и межличностных отношений, т.е. защиты фундаментальных прав граждан и их особых (эксклюзивных) объединений, часто имеющих противоположные и взаимоисключающие интересы. С этой стороны эксклюзивизм как право на своеобразие, на проповедь своей особенности, на свои глубокие убеждения, защищается государством. Таким образом, любое современное государство защищает и ограничивает эксклюзивизм любых форм церковно-религиозного и светского характера.

В этой связи современные православные богословы, к примеру, епископ Егорьевский Марк, отмечают, что «секуляризм» в «сознании современного религиозного человека, и на Западе, и на Востоке ... воспринимается как один из главных оппонентов религиозного мировоззрения», тогда как «для верующего человека, выросшего в Советском Союзе, казалось, что единственным, что может противостоять религии, является атеизм» [17]. «Секуляризм» не есть нечто са-

мостоятельное, его природу владыка понимает как ответную реакцию на «клерикализм», воплощением которого «в истории западной Церкви была инквизиция, казни еретиков, Крестовые походы», а в «истории Православной Церкви в России были попытки копировать эти силовые методы». Владыка считает клерикализм «привнесением в Церковь духа мира сего, начал, несовместимых с Евангелием», противопоставляя ему «любовь, милосердие, кротость» как «принципы, которыми должна жить Церковь», как «начала, благодаря которым христианство не мечем и насилием, а силой духа и истины обратило мир» [18].

Таким образом, с этой стороны, секуляризм понимается как вынужденная реакция части верующих единого (потенциально, в перспективе) исповедального сообщества «ищущих дух и истину», только временно являющегося совокупностью граждан полиэтнических, поликультурных, поликонфессиональных и многомировоззренческих государств (где гарантированы защита их свобод: убеждений, совести, вероисповедания, слова и т.п.). Причина этой реакции в инородных природе Церкви элементах насилия, имевших место в истории, т.е. несовершенство исторического христианства делает присутствие секуляризма историческим фактом, имеющим разные уровни (степени) обособления от него (вплоть до «воинствующего безбожия» или интеллигентного агностицизма). Абсолютное противопоставление «духу Евангелия» неизбежно ведет секуляризм в область «духа мира сего», мира насилия и произвола.

В целом можно утверждать, что отмеченные значения отражают глобальную смену форм социально-политических и государственно-церковных отношений, частью которых является российское общество. Г. Керер отмечает, что «дискуссии о секуляризме как характерной черте нашего времени с некоторых пор навевают тоску на исследовате-

лей и вызывают более осторожную, чем раньше, реакцию со стороны теологов» [19]. Строго научно доказать, «произошла ли в действительности секуляризация в Европе», при всей «наглядности» этого процесса, полагает он, невозможно. В действительности, «если влияние религии и церкви в одних областях падает, то в других оно явно возрастает» [20]. При наглядном уменьшении «собственно церковного фактора» происходит «утверждение автономии и дружественных представлений о Боге», которые «направлены не против христианской религии, но в определенной мере прямо восходят к христианскому влиянию» [21]. Инобытием христианства считает секуляризм целый ряд других авторов, в том числе П. Бергер и Т. Лукман [22], П. Вайдкун [23], православный богослов А. Мень [24] и многие другие.

Цивилизация не является средством тоталитарного подавления свободы совести каких-либо религиозных групп. Она – результат трагического опыта европейской и мировой практики взаимоотношения конфессий, мощный механизм предотвращения кровопролития и массовых преступлений против человечества. Надконфессиональный гуманизм выступает фундаментальной ценностью и предельным основанием для решений в этой сложной сфере социального бытия. Именно гуманизм является основой современной философии образования, ибо современная система государственного образования носит светский характер и призвана воспитывать людей с глубокими знаниями и толерантными убеждениями, готовых к искреннему диалогу о бытии [25].

В международных и российских правовых документах различают понятия надличностного и личностного уровней, где первые выражаются через термины «язык», «нация», «религия», а вторые – через понятия «вера» и «убеждения» [26]. Надличное (социальное) и личное (индивидуальное) связываются не только формальной «законно-

стью», отчужденно устанавливающей рамки личного поведения, но отношением «совестности», чувства ответственности и долга перед другими, согласия как с возможностью других иметь свои уникальные убеждения, свои идентификационные символы, так и с возможностью духовного общения и обобщения, связывания в общности. В идеале личность выступает как гармония индивидуального и социального.

### Литература

1. Конституция Российской Федерации. М., 1993. – С. 8.
2. Шахов, М. О. Светское государство // Религиоведение / Энциклопедический словарь. М., 2006. – С. 956.
3. Овсиенко Ф. Г. Секуляризация // Религиоведение / Энциклопедический словарь. М., 2006. – С. 975.
4. Там же. С. 975.
5. Даль, В. Толковый словарь живого великорусского языка. М.: Гос. изд-во иностран. и национальн. словарей, 1955. – В 4 т. – С. 158.
6. Ожегов, С. И. Словарь русского языка / С.И. Ожегов. – М. : Русский язык, 1988. – С. 573.
7. Словарь иностранных слов – 19 изд., стер. – М. : Русский язык, 1990. – С.457.
8. Майоров, Г. Г. Формирование средневековой философии. – М. : Мысль, 1979. – С. 123 – 124, 333, 403.
9. Кареев, Н. И. Секуляризация // Христианство: Энцикл. слов. : В 3 т. – Т. 2. М., 1995. – С. 539 – 540.
10. Секуляризация // Атеистический словарь. М., 1983. – С. 440 – 441.
11. Зеньковский, В. В. История русской философии. М., 2001. – С. 866.
12. The Wordsworth Dictionary of Beliefs & Religions. Ed. By Rosemary Goring, Edinburgh, 1995. – P.468.
13. Конституция СССР. М., 1986. – С. 2.
14. Зеньковский В.В. История русской философии. М., 2001. С. 866.
15. Малиновский, Б. К. Научная теория культуры // Вопросы философии. – 1983. – № 2. – С.116. Малиновский Б.К. Сакральное и профанное в жизни «первобытного человека» // Диспут. – 1992. – № 3. – С. 42 – 43; Яблоков И.Н. Основы теоретического религиоведения. М., 1994. – С.145 – 151; Гараджа В.И. Социология религии. М., 1995. – С.18, 19, 64.
16. Малахов, В. С. Постмодернизм // Современная западная философия. Словарь. М, 2000. – С. 326.
17. Доклад епископа Егорьевского Марка на конференции «Церковь и секуляризм в современном обществе: позиция Православной и Римско-католической церквей». 29 марта 2006 г. // <http://www.interfax-religion.ru>.
18. Там же.
19. Kehrer, G. Die Kirchen im Kontext der Säkularisierung // Neue Religiosität und seculare Kultur /Hrsg.: Baadt J., Rausdier A. Graz etc., 1988. – S.9 – 10.
20. Там же. – S.12 – 20.
21. Там же. – S.22 – 23.
22. Яблоков, И. Н. Основы теоретического религиоведения. М., 1994. – С.112; Гараджа В.И. Социология религии. М., 1995. – С.169.
23. Weidkuhn, P. Der Arbeitsgesellschaft geht ihr Opium aus: Eine moderne Weltreligion in der Sackgasse // Ztschr. für Religions- u. Geistesgeschichte. Köln, 1990. Jg.42. – № 4. – S. 330 – 352.
24. Мень, А. Два понимания христианства // Новое время. 1996. – С.42 – 44.
25. О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации «Об образовании» // Российская газета. 1996, 23 января.
26. Всеобщая Декларация прав человека // Америка. 1991. № 421; Заключительный акт совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе. М., 1985; Конвенция ООН о правах ребенка. М., 1991.

**В.В. Гуляева**

### **ТРАДИЦИИ ХРИСТИАНСКОЙ И ЯЗЫЧЕСКОЙ КУЛЬТУР В СУЗДАЛЬСКОМ КРАЕ**

Окняжение Суздальского края сопровождалось христианизацией его жителей. Суздальская земля в летописях и старинных книгах впервые упоминается под 6498 г. (990). Так, в Степенной книге о крещении края говорится: «В лето 6498 от Киева подвижеса блаженный Владимир шествовати в Суждальскую землю взем съ собою двух епископов ... и в земли Суждальской вся люди крестиша» [1].

Исследователь истории русской церкви, Е. Голубинский отмечал, что «первыми водворителями христианства в Ростове и его области были епископы, кафедра которых была учреждена ... при первом разделении России на епархии..., именно в 991-м году» [2].

По мнению А.А. Зимина, также сведения о крещении Русской земли и появлении первых четырех епархий восходят к ростовским и новгородским источникам. «В лето 6496 во царство Василия и Константина от патриарха Фотея крестися Владимир в Корсуни и приведе с собою из Грек первого митрополита Леона и с нимъ 4 епископы и крести всю землю Руськую. И се бысть 1 митрополит Леон и нарече Владимир митрополию в Киеве. А тех 4 епископов посади по градом: Бельград нарече архиепископью, посади в нем 1 епископа; другаго Ростову, Феодора именем, посла его с мучеником Борисом, тьи бысть 1 епископ в Ростове, крести всю землю Ростовскую и Суздальскую; 3-го в Чернигове, 4-го в Волынскую землю» [3].

В позднем летописце XVIII в. есть интересный текст о крещении Суздаля Владимиром: «Великий князь Владимир всея России прииде во град Суждаль и крести Суждальскую землю и в кремли городе зологи церковь» [4].

Местные жители – язычники – с трудом принимали новую веру. Летопись сообщает, что появление князя Глеба в Муроме вызвало бурный протест населения: «и не прияме его к себе на княжение и не крестимся, но сопротивляхуся ему» [5]. Свидетельством тому, что христианское вероучение с трудом проникало в народные массы, явилась волна восстаний, прокатившихся в XI в. по всей Северо-Восточной Руси. Верховную роль в волнениях играли языческие жрецы-волхвы. Именно волхвы возглавляли восстание смердов в 1024 г. в Суздале и в 1071 г. в Ростове [6]. В 1024 г. в Суздале вспыхнуло восстание, руководимое языческими жрецами-волхвами. Восстание было направлено против «старой чади», державшей «гобино» – урожай, общее добро. Оно было ожесточено голодом, возникшим в результате неурожая. Лаврентьевская летопись так описывает эти события: «Все же лет вьсташа волъсви в Суждали избиваху старую чадь къ дыаволу наоущенью и бесованью глще яко си держать gobiно бе матежь великъ и голодь по всеи тои стране, идоша по Волзе вси людье в Болгары и привезоша жито и тако ѿжиша слышав же. Ярославъ волхвы приде Суздалю; изъймавъ волхвы расточи а другыми показни» [7].

Восстание было настолько сильным, что для его подавления приезжает сам Ярослав Мудрый. Он прибыл в Суздаль с дружиной и подавил восстание самым жестоким образом. Это первое летописное упоминание Суздаля отмечает факт принадлежности города Ярославу Мудрому, который «устави землю», т.е. распространил на нее нормы Русской Правды.

Но язычество еще долго держалось среди местного населения. Места жертвоприноше-

ний – капища – сохранялись в Суздальской земле еще в конце XI в. В житии ростовского епископа Исая записано: «Приехав из Киева в Ростов, Исая обошел «все грады и веси по области Ростовской и Суздальской, и еще где обретоша идолы и капища, разоряше их и огню предаваше» [8].

Напротив северо-западной мысовой части суздальского кремля на холме правого берега р. Каменки высится церковь Ильи Пророка, перенесенная сюда в XVIII в. с торга. Холм, на котором она располагается, всегда привлекал множество народа, особенно весной, так как с него ранее других сходил снежный покров, и молодежь устраивала здесь весенние игры. Холм этот издревле носил название Ивановой горы. А.Д. Варганов полагал, что название это связано с языческим культом Ивана Купалы [9].

Ананий Федоров, суздальский историк XVII в., в своем труде отмечает места бывших языческих капищ, он пишет, что «обыватели во граде Суждале прежде просвещения святым крещением бяху идолопоклонники, и имеяху богов языческих, кроме их Яруна, Пиная, Облупу, Купала, по которым и места были во граде особливые, где их богомерские были молбища, или капища. От Яруна - Ярунова улица, от Пиная - Пинаиха, от Облупы - Облупа, где ныне кабак» [10]. Эти языческие божества так же известны по письменным источникам Древней Руси [11].

В Писцовой книге 1617 г. упомянуто божество «Пинай»: «За рекою, за Каменкою, за острогом в Введенской улице...место Пинайки портного мастера» [12]. Облупа – от слова облупить, обдирать. Суздальский кабак в XVIII в. стоял на месте, называемом «облупа». Сейчас это место носит название «Кабаккой горы».

В суздальских преданиях, приводимых В. М. Снегиревым, говорится об идоле Перуна, стоявшем в кремле на княжеском дворе и об идоле Велеса на месте Васильевского монастыря, где суздальцы приняли крещение.

Кроме того, есть предание об идолах богини любви Ладо и ее мужа Тура, стоявших на Пинаевской улице. В честь этих божеств будто бы был установлен праздник «Семик» [13]. Любопытно описание праздника Флора и Лавра, покровителей скота, который празднуется 18 августа. В этот день в Суздале около Богоявленской церкви, стоявшей на лугу, на правом берегу р. Каменки напротив Окольного города, собирали всех городских лошадей, около 800 голов, и по древнему обычаю кропили их святой водой. Этот обряд указывал на древние языческие традиции, где конь считался священным животным [14].

Постепенно христианство проникало в народные массы. Первым епископом в Ростово-Суздальской земле был Федор, «родом грек». При нем в Ростове был построен великолепный деревянный храм Успения. В конце X в. он уезжает в Суздаль, где были более благоприятные условия для миссионерской деятельности.

После Федора место на епископской кафедре занял Илларион, затем Леонтий, который значительно преуспел во введении христианства в крае. При преемнике св. Леонтия св. Исаяе, постриженнике Киево-Печерского монастыря был основан первый суздальский монастырь, который носил имя св. Дмитрия и был частью Киево-Печерской обители.

Епископы Исая и Ефрем сыграли большую роль в христианизации суздальского края. Епископ Ефрем создал церковь св. Дмитрия и передал суздальскому Дмитриевскому монастырю свои села. Упоминание о создании церкви святого Дмитрия находим в летописи, в связи с упоминанием пожара в Суздале в результате набега князя Олега [15].

Переяславский епископ Ефрем, сподвижник Владимира Мономаха, неоднократно упоминается на страницах летописи. На Переяславскую митрополию он вступил после

1077 г. В его юрисдикцию входили смоленские и суздальские территории. Из летописных сведений можно восстановить облик Ефрема. Он был «скопец, высок телом», происходил из знатной семьи, от «князя дома», в числе первых был пострижен монахом в Печерский монастырь, причем с его приходом значительно увеличилось достояние монастыря [16].

С именем Ефрема связана строительная деятельность в Суздале. Так, под 1222 г. в летописи есть упоминание о том, что «великий князь Гюрги заложи церковь каменную святыя Богородица в Суждали на первомь месте, заздрушив старое зданье, понеже учала бе рушиться старостью и верх ее впал бета бо цркы создана прадедом его Володимиром Мономахом и блженымь еппомь Евфремом» [17].

О ранней дате принятия христианства говорят археологические материалы суздальского некрополя, в котором обряд трупоположения в ямах, головой на запад, почти без инвентаря зафиксирован уже на рубеже X - XI вв. Особый интерес представляет крест-энколпион ранней формы X - XI вв. с гравированным изображением Христа с воздетыми руками [18]. Если кресты-тельники входили в состав женских ожерелий в качестве украшений, то энколпионы служили вместилищем мощей, и являлись принадлежностью верующих христиан (рис. 1).

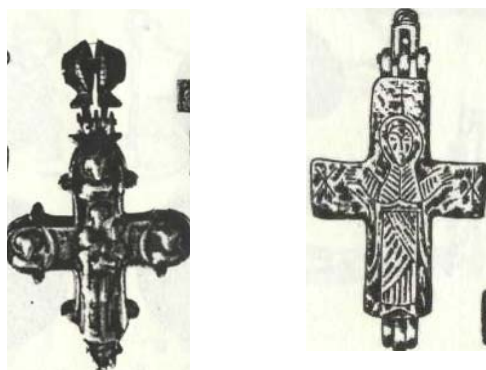


Рис. 1. Кресты-энколпионы

Наибольшего расцвета, по мнению Н.П. Кондакова, изготовление энколпионов достигло в X в. Гравированный энколпион был найден в Гнездове, находка датируется второй половиной X в. Эта древнейшая вещь свидетельствует о проникновении христианства на территорию Ростово-Суздальской Руси в X в. [19]. Окончательная христианизация края протекала, на протяжении всего XI в. По мнению Е. Голубинского, «христианство водворено было скорее не в области Ростовской, а Суздальской» [20].

В плане языческих верований Суздаль большой интерес представляет городской курганный некрополь [21]. Трупоположения в могильных ямах, в могильниках на Михайловской стороне, ориентированные головой на запад, лицом к восходящему солнцу, характерны для христианского обряда захоронения. Но традиция сооружения курганных насыпей является языческим пережитком. К языческой традиции относится также обряд трупосожжения, где прослеживаются следы частичного сожжения костяков, а также прокаливания почвы в основании курганных насыпей. Об обычае «греть покойника» мы встречаем в «Житии Константина Муромского» Этот обычай сохранялся до XIX в.

В насыпях курганов очень часто встречались фрагменты гончарной посуды от погребальной тризны. Так, в одном из детских погребений обнаружен глиняный гончарный горшок с заупокойной пищей. Инвентарь, сопровождавший погребенных, состоял из украшений и ножей. Погребальная тризна и сопровождавший её инвентарь - это следы языческих верований в загробную жизнь усопших. Отмечены случаи обертывания покойника берестой, наличие углей в засыпке могилы, употребление перстнеобразных височных колец в женских прическах, положение усопшего с ножом у пояса. Подобные захоронения были обнаружены в Суздале у церкви Скорбящей Божьей Матери в захоронениях XVI - XVIII вв. Следовательно, ус-



тойчивая языческая традиция дожила до XVIII в. [22].

В языческом мировоззрении были распространены «строительные жертвы». Принесение в жертву священного животного или иногда и человека, было распространено во всем мире. У славянских племен священными являлись петух и конь. Их приносили в жертву при сооружении жилых домов, укреплений и т.д., чтобы охранить обитателей постройки от злых духов и обеспечить прочность здания. Так, при исследовании оборонительных сооружений первой половины XII в. в северо-восточной части Окольного города Суздаля был обнаружен череп лошади в возрасте 4 - 5 лет, который лежал затылком к углу сруба, мордой - к северу. Принесение в жертву коня должно было обеспечить всему оборонительному сооружению прочность и неприступность. Таких следов строительных жертв отмечено около десяти. Подобные строительные жертвы в Суздале распространены были в основном в XI-XII вв. К XIII в. эта традиция в быту горожан исчезает [23].

О языческих верованиях жителей Суздаля говорит найденная в культурных напластованиях XII в. фигурка языческого божества, хранящаяся ныне в суздальском музее. Это - литая бронзовая объемная фигурка с двусторонним изображением мужчины в полный рост. Она входила в набор привесок-оберегов, хорошо известных по находкам в курганах не только Суздаля, и известна как привеска-ложечка. Носили подобные амулеты женщины [24] (рис.2).

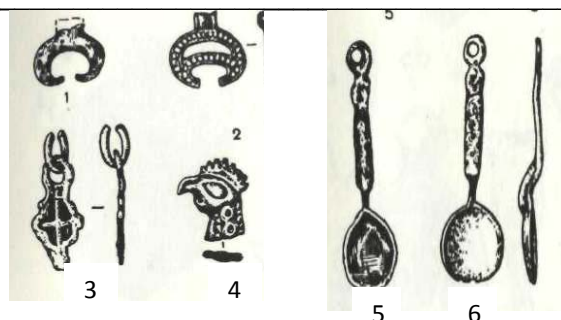


Рис. 2. Археологические находки: 1, 2 – лунницы; 3, 4 – шумящие подвески; 5, 6 – привески-ложечки

Интерес представляет привеска-амулет в виде миниатюрного боевого топорика, покрытого циркульным орнаментом. Топорик сохранился не полностью, обнаружен он в слое конца XI в. Топорики были общерусским типом амулета, причем больше половины их найдено в городах. Найденные в курганах находки топориков принадлежали мужским захоронениям, в основном, мальчикам и подросткам. Изображения топориков были связаны с воинской дружинной средой и специфическими для этой среды верованиями и обрядами [25] (рис.3).

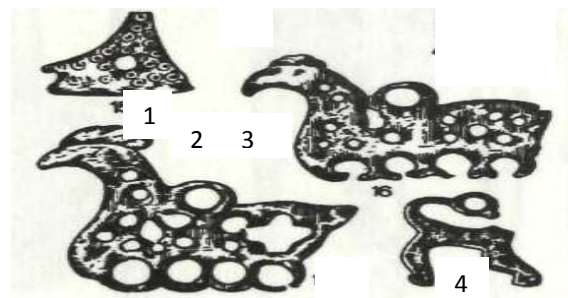


Рис. 3. Привески-обереги: 1 – привеска-топорик; 2-3 – привеска-петушки; 4 – привеска-конек

Найденные привески-обереги позволяют глубже проникнуть в мир языческих верований славян, а также проследить процесс взаимопроникновения различных представлений в полиэтничной городской среде Суздаля. В этом отношении значительный интерес представляют ажурные привески в виде птиц с острым клювом и гребешком на голове. Изображения эти очень напоминают священную птицу славян - петуха, хотя привески снабжены отверстиями для шумящих подвесок в виде утиных лапок, характерных для финно-угорской мифологии. Амулеты с петушиным гребешком получили наибольшее распространение в городских центрах Северо-Восточной Руси, где соприкасалось славянское и мерянское население. В самом Суздале найдено 3 экземпляра таких привесок в слое XII в. на территориях Дмитриевского монастыря и Кремля [26].

Распространённым видом амулетов-оберегов были бобровые пяточные кости с просверлиными, зубы медведей, кабаньи клыки. Их этническую принадлежность трудно определить. Бытовали они не только в предмонгольский, но и в послемонгольский период. Эти амулеты связаны с наиболее древними охранительными представлениями. Особый интерес среди них представляют обереги, сделанные из когтей медведя, с частью фаланги, имеющей просверлину для подвешивания. Эти амулеты были обнаружены в близлежащих селищах – в Васильках, Веси и Гнездилове слоях X – XI вв. Найден также такой амулет и в Муроме. Вообще амулеты из когтей медведя были широко распространены в памятниках IX – XIV вв. [27] (рис. 4).

С христианской городской культурой связаны амулеты-змеевики, заимствованные Русью из Византии (рис. 5).

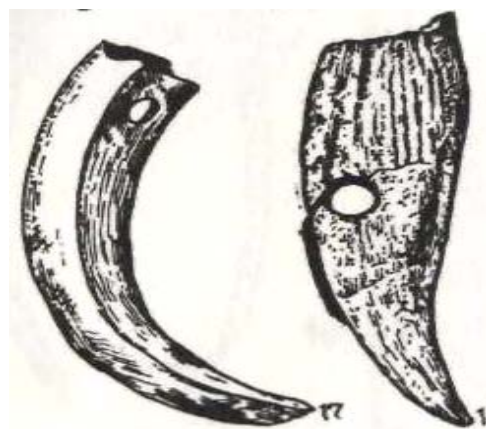


Рис. 4. Амулеты из костей животных



Рис. 5. Амулеты-змеевики бронзовые:  
а – лицевая сторона, б – оборотная

На лицевой стороне этих амулетов помещены изображения христианской символики – Христа, Богородицы с младенцем, архангелов, святых. На оборотной стороне изображение «змеиного гнезда», в центре которого – голова Медузы Горгоны с отходящими от нее туловищами змей. Употреб-

лялись змеевики как обереги от различных болезней и иных напастей. На большинстве экземпляров их на оборотной стороне, обращенной при ношении к телу помещалась круговая надпись, содержащая заклинания против болезней, лихорадок. Христианская церковь вела ожесточенную борьбу с употреблением змеевиков-оберегов, отразившуюся во многих поучениях XIV - XV вв. в Кормчей книге. Из Суздаля происходят четыре змеевика: три - из раскопок и один каменный, хранившийся в ризнице Рождественского собора. Этот так называемый «Суздальский змеевик» привлекал к себе внимание большого количества исследователей, ему посвящено огромное количество литературы. Принадлежал он жене князя Всеволода III «Большое гнездо» Марии Шварновне и заказан был ею для исцеления своих детей и себя самой в 1189 г.» [28]. Наиболее древним из найденных при раскопках является бронзовый змеевик XI в. На лицевой стороне его помещено изображение святого воина, скорее всего, Георгия. Змеевик должен был охранять хозяина в ратном деле. На оборотной стороне амулета помещена наиболее древняя змеиная композиция, в которой змеи как бы вырастают из туловища медузы Горгоны (рис. 5).

Второй змеевик из бронзы датируется концом XII - началом XIII вв. На лицевой стороне его довольно грубо изображен архангел Михаил, держащий в руках лабар и сферу. На оборотной стороне помещена женская голова с отходящими от нее, как от центра, двенадцатью змеиными головами. Третий змеевик найден у Ризоположенского монастыря, с плохо сохранившимся на лицевой стороне изображением распятия [29].

Языческие сюжеты можно проследить и в орнаментации белокаменных соборов XII - XIII вв., выстроенных владимиросуздальскими князьями, а также в таких предметах декоративно-прикладного искусства как «суздальские золотые врата» или предметы

княжеско-боярского убора, известные по кладам. Все они свидетельствуют о сложности и многообразии представлений горожан, соединявших христианские догмы с языческими обычаями и взглядами в культуре средневекового Суздаля [30].

Так христианство постепенно распространилось в Ростово-Суздальской земле. Не случайно на территории Северо-Восточной Руси строятся первые храмы. В самом начале XII в. (1101-1102 гг.) в Суздале при Владимире Мономахе строится каменный храм во имя Успения Богоматери, а полвека спустя в загородной княжеской резиденции Юрия Долгорукого – Кидекше – каменный храм в честь первых русских святых Бориса и Глеба.

### **Литература**

1. Сахаров, И. Историческое описание Суздальского первоклассного Спасо-Евфимиева монастыря. – М., 1905. – С. 12.
2. Голубинский, Е. История Русской церкви. Т. 1. – М., 1901. – С. 199.
3. Зимин, А. А. Краткие летописцы XV - XVI вв. // Исторический архив. – М. – Л., 1961. – Т. V. С. 26 - 27.
4. Древняя российская вивлиофика. – Т. XIX. М., 1791. – С. 366 - 367.
5. ПВЛ. Ч. 1. М.- Л., 1950. – С. 85.
6. ПСРЛ. Т. I. Л., 1967. – С. 148.
7. ПСРЛ. Т. V. Вып. I. Пг., 1915. – С. 110.
8. Житие преподобного отца нашего Исая, епископа Ростовского. М., 1854.
9. Варганов, А. Д. Суздаль. – Ярославль, 1971. – С. 6.
10. Федоров Анания. Историческое собрание о граде Суздале. – С. 70 - 71.
11. ПСРЛ. Т. I. М., 1962. – С – б. 492, 493, 507, 508.
12. Писцовая книга города Суздаля 1617 года // Ежегодник Владимирского губернского статистического комитета. Вып. I, Владимир, 1875. – С. 258.

13. *Снегирев, В. М.* Суздальские записки. 1973.
14. *Седова, М. В.* Суздаль в X - XV вв. – М., 1997. – С. 206.
15. ПСРЛ. Т. I. С–б. 237-238.
16. ПСРЛ. Т. I. С–б. 221.
17. ПСРЛ. Т. I. С–б. 445.
18. *Спицын, А. А.* Владимирские курганы.
19. *Асташова, Н. И.* Энколпион из Гнездова // СА – 1974. – № 3. – С. 249 - 251.
20. *Голубинский, Е.* История Русской церкви. Т. 1. М., 1901. – С. 205.
21. *Сабурова, М. А., Седова, М. В.* Некрополь г. Суздаля // Культура и искусство средневекового города. – М., 1984. – С. 91-130.
22. *Седова, М. В., Беленькая, Д. А., Яковлева, Т. Ф.* Работы в Суздале // АО за 1976 г. – М., 1977. – С. 69.
23. *Седов, В. В.* К вопросу о жертвоприношениях в древнем Новгороде. Жертва Строителей // КСИИМК. Вып. 68. – М., 1971. – С.2.
24. *Рябинин, Е. А.* Языческие привески-амулеты Древней Руси // Древности славян и Руси. – М., 1988. – С. 58.
25. *Даркевич, В. П.* Топор как символ Перуна в древнерусском язычестве // СА. – № 4. – 1961. – С.94-102.
26. Археологические исследования в РСФСР в 1934-1936 гг. Краткие отчеты и сведения. М.-Л., 1941. – С. 93 - 95.
27. *Спицын, А. А.* Указ. соч.
28. *Медынцева, А. А.* Суздальский змеевик // Материалы по средневековой археологии Северо-Восточной Руси. – М., 1991. – С. 34 - 52.
29. *Николаева, Т. В., Чернецов, А.В.* Древнерусские амулеты-змеевики. – М., 1991. – С. 82 - 83.
30. *Седова, М.В.* Пережитки языческих верований в средневековой культуре Суздаля // КСИА. – Вып. 208. – 1992. – С. 77 - 86.

---

*Научное издание*

ТРУДЫ  
ВЛАДИМИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 5

Подписано в печать 23.10.08.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 11,62. Тираж 150 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87