

## ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ РАЗВИТИЯ

В.Н. Устюжанинов

Широкое распространение понятия «высокие технологии» стало повседневной практикой. Отсутствие относительно строгих определений создает предпосылки для расширенного толкования этого и связанных с ним понятий. В результате размываются границы между признаками традиционных и высоких технологий, что влечет появление системных погрешностей оценки и прогнозирования достижимых значений количественных характеристик конечной продукции. При разработке новых технологий подмена понятий может привести к подмене физических закономерностей, определяющих характеристики базовых технологических процессов и конечного продукта.

Высокие технологии по определению являются результатом масштабных исследований, включающих математическое и физическое моделирование, экспериментальные исследования и натурные испытания в лабораторных и промышленных условиях. Технические характеристики и параметры продукции высоких технологий в каждой конкретной сфере в неявной форме отражают параметры математических моделей и технологических процессов. Это означает, что изменение исходных данных и параметров математических моделей, так же, как и изменение временных, режимных и физических параметров технологических процессов, сопровождается количественными и качественными изменениями характеристик продукции.

Определение количественных взаимосвязей между характеристиками продукции высоких технологий и параметрами моделей, материалов, процессов и технологических режимов является целью и результатом разработки высоких технологий в различных сферах исследований и производства. Результаты могут быть представлены в табличной или аналитической форме. Объем табличной информации и сложность теоретических моделей характеризуют масштабы решаемой проблемы и объемы исследований и разработок, выполняемых для ее решения.

Повышение уровня технического совершенства продукции может быть обеспечено в результате оптимизации параметров типовых технологических процессов, а также вследствие применения новых материалов и технологий на основе новых физических процессов. Существование альтернативных вариантов обуславливает необходимость проведения исследований по нескольким перспективным направлениям в области материаловедения, математического моделирования, разработки теоретических моделей с использованием методов и средств компьютерной математики, физического и технологического моделирования. Результатом исследований по указанным направлениям является формирование теоретических, физико-химических и технологических основ наукоемких технологий для каждой конкретной отрасли знаний или сферы производства.

Каждое из направлений исследований характеризуется показателями преемственности и новизны, отражающих соотношение фундаментальной и инновационной составляющих в масштабах предметной области. Вклад инновационной компоненты характеризует глубину разработки проблемы. Выполнение теоретических исследований и математического моделирования технологических процессов осуществимо в рамках существующих математических методов и средств компьютерной математики. Это означает, что инновационная компонента теоретических основ может быть реализована в виде новых функциональных зависимостей в рамках традиционных разделов математики, а так же в виде новых

моделей на основе непрерывной, дискретной или компьютерной математики. Результатами разработки физико-химических основ новых технологий могут быть новые материалы, процессы и параметры технологических режимов.

Технический синтез материалов с более высокими значениями физических параметров, обуславливающих повышение уровня качества продукции высоких технологий, часто характеризуется значительным вкладом инновационной составляющей. Она может оказаться преобладающей в общей системе оценок эффективности новых разработок, что потребует максимальной концентрации финансовых, материальных и интеллектуальных ресурсов на проблемах материаловедения. Анализ научно-технических достижений в области функциональной электроники и нанотехнологий за последнее десятилетие подтверждает актуальность проблем технического синтеза новых материалов с высокими значениями критериальных параметров. Проблемы материаловедения особенно актуальны для решения задач разработки высокопроизводительных информационных систем на новых физических принципах и алгоритмах обработки информации в акустоэлектронике, полупроводниковой электронике, оптоэлектронике, магнитоэлектронике, диэлектрической электронике, молекулярной электронике и др. [1].

Развитие и совершенствование высоких технологий является результатом учета и использования расширяющегося множества факторов и параметров, определяющих уровень качества продукции. Сопутствующий рост числа сочетаний количественных характеристик технологических параметров обуславливает перевод задачи определения оптимальных технологических режимов в разряд задач многокритериальной оптимизации. При наличии адекватных математических моделей технологических процессов подобные задачи часто могут быть решены только с применением компьютерных технологий из-за отсутствия формальных методов и алгоритмов решения. Однако такая ситуация является скорее исключительной, а разработка теоретических моделей для отдельных параметров технологических процессов в многомерных пространствах переменных часто рассматривается как самостоятельная задача. Поэтому определение оптимальных значений технологических режимов достигается преимущественно в результате сочетания теоретических, расчетных и экспериментальных методов. Эффективность решения задачи оптимизации технологических режимов может быть оценена отношением приращения определяющих параметров уровня качества продукции к приращению затрат всех видов ресурсов, необходимых для достижения результата. Такая оценка может быть использована также для определения вклада инновационной составляющей для технологических режимов.

Рассмотренные особенности необходимо учитывать при выборе методики оценки совершенства технологий в различных отраслях наукоемкого производства. В основу подобных оценок может быть заложено ранжирование критериев, определение инновационных признаков теоретического обоснования, физико-химических основ и технологических режимов, как условий перехода на более высокие уровни технологий. Такой подход обеспечивает возможность синтеза обобщенных моделей, адаптируемых к особенностям различных отраслей техники и технологий. Достоверность и объективность количественных оценок уровней качества высоких технологий возрастает по мере сужения предметной области.

Характеристики инновационной составляющей по каждому компоненту наукоемких технологий могут быть использованы для получения количественных оценок уровней качества. Применение двоичного кодирования каждого признака позволяет получить цифровой образ любого уровня совершенства наукоемких

технологий. Алгоритм формального синтеза цифровых моделей предусматривает выполнение процедуры ранжирования базовых признаков для конкретных задач разработки эффективных технологий и двоичное кодирование каждого признака. Результаты ранжирования отражают сформировавшиеся приоритеты и перспективы развития эффективных технологий в конкретных областях науки и техники. В частности, возможен вариант ранжирования в виде расстановки базовых характеристик в последовательности: уровень теоретического обоснования; наличие адекватных математических моделей технологических процессов; степень разработки физико-химических основ новых технологий по признакам использования новых материалов, новых физических принципов и явлений, новых технологических режимов и параметров. Признаки новизны по каждому показателю отображаются символом «1» в соответствующем разряде кодовой комбинации, отсутствие новизны отображается символом «0».

Цифровой способ формального описания и оценки уровня качества высоких технологий позволяет выделить  $2^n$ , где  $n$  – номер поколения технологии, различных варианта технологических процессов, отличающихся минимально одним и максимально  $(2^n - 1)$  признаком от традиционной технологии, принятой за базу для сравнения. Каждый набор значений логических переменных в составе кодовой комбинации (двоичного слова) имеет содержательное истолкование. Примеры кодирования уровня технического совершенства новых технологий для  $n = 5$  :

- 00000 - начальный уровень;
- 00001 – изменены технологические режимы в базовой технологии;
- 00011 – реализованы новые физические принципы и технологические режимы;
- 00101 – техническая эффективность достигается в результате применения новых материалов и изменения технологических параметров;
- 00110 – преимущества обеспечиваются применением новых материалов и технологических процессов, основанных на новых физических принципах;
- 00111 – высокая эффективность новых технологий достигается в результате применения новых материалов, физических принципов и технологических режимов;
- .....
- 11111 – высший уровень совершенства высоких технологий достигается разработкой новых теоретических положений, адекватных математических моделей, материалов, технологий и технологических режимов.

Двоичное кодирование позволяет определить десятичный эквивалент порядкового номера уровня совершенства для принятой системы ранжирования приоритетов. Применение двоичного кода позволяет получить содержательную характеристику технологического процесса, а использование десятичного эквивалента дополняет ее количественной мерой, характеризующей положение достигнутого уровня на шкале возможных значений. Такой подход допускает применения аппарата математической логики для постановки и решения прикладных задач разработки, сравнения и оптимизации высоких технологий в различных сферах деятельности. Применение десятичного эквивалента расширяет возможности этого аппарата в результате получения количественных оценок уровня качества.

Методику реализации рассматриваемого подхода иллюстрирует следующий пример. Пусть уровень технологии характеризуется показателем 00100, что достигается применением новых материалов при неизменных характеристиках и режимах технологического процесса и соответствует четвертому уровню совершенства (качества). Поставленная задача предусматривает повышение уровня минимум на две позиции, т.е. достижения шестого уровня 00110. Это означает, что, при прочих равных

условиях, приемлемы все варианты в интервале значений 00110...11111, т.е. с шестого по тридцать первый.

Формальное решение задачи может быть получено с привлечением теории переключательных функций [2]. Для этого каждый показатель качества определяется логической переменной, принимающей значения логической единицы (истинность) или логического нуля в случае ложного значения (отсутствия) соответствующего признака. Например, использование новых материалов отображается значением логической переменной  $x_3 = 1$ , при отсутствии такого признака эта переменная принимает нулевое значение, обозначаемое символом  $\bar{x}_3$ . Определение приемлемых вариантов решения задачи может быть выполнено с использованием табличных или аналитических методов.

Табличный способ описания технологии предусматривает составление таблицы истинности, содержащей все представляющие интерес наборы значений логических переменных и соответствующие им значения логической функции. Для случаев, когда технологические варианты с шестого по пятнадцатый уровень качества рассматриваются как приемлемые, обозначаемые единичным значением логической функции  $Y = 1$ , таблица истинности принимает вид:

Таблица истинности для различных уровней совершенства технологии

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y$	№ <sub>вар</sub>
0	0	1	1	0	1	6
0	0	1	1	1	1	7
0	1	0	0	0	1	8
0	1	0	0	1	1	9
0	1	0	1	0	1	10
0	1	0	1	1	1	11
0	1	1	0	0	1	12
0	1	1	0	1	1	13
0	1	1	1	0	1	14
0	1	1	1	1	1	15

Представленные в Таблице характеристики технологических процессов высоких уровней имеют эквивалентные формы в виде аналитических моделей. Используя типовые алгоритмы перехода от табличного представления событий к аналитическому описанию в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) [2], получаем

$$Y = \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4\bar{x}_5 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4\bar{x}_5 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4\bar{x}_5 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4\bar{x}_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3x_4\bar{x}_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3x_4x_5, \quad (1)$$

где  $\vee$  - символ операции дизъюнкции (логического сложения).

Математическая модель (1) представлена в виде логической суммы элементарных произведений, каждое из которых отображает соответствующую строку Таблицы, записанных в порядке следования строк, т.е. в порядке повышения уровня

технического совершенства технологии. Выбранный способ кодирования позволяет выявить технические особенности каждого варианта, а десятичный эквивалент двоичного кода каждого варианта определяет количественную характеристику («высоту») соответствующего уровня.

Рассматриваемая методика создает предпосылки для разработки единого алгоритма решения прикладных задач в сфере высоких технологий. Решение прямых задач сводится к определению количественной характеристики уровня технического совершенства технологии по критериальным параметрам для существующей системы их ранжирования. Один из вариантов постановки прямых задач предусматривает нахождение условий достижения заданного показателя качества по номеру соответствующей строки Таблицы. Поразрядное сравнение начальной и заданной строк Таблицы или соответствующих слагаемых в уравнении (1) позволяет сформулировать частные технические задания для теоретического, математического и физико-химического направления исследований.

Пример. Необходимо определить направления и задачи исследований для повышения уровня совершенства технологии с шестого (00110) до десятого (01010). Формальная постановка задачи предусматривает определение условий перехода

$$\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4\bar{x}_5 \Rightarrow \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4\bar{x}_5. \quad (2)$$

Поразрядное сравнение левой и правой частей (2) показывает, что для достижения поставленной цели необходимо разработать более совершенные (адекватные) математические модели ( $x_2$ ) теоретического обоснования основных физико-химических процессов. При этом можно отказаться от применения новых материалов ( $x_3$ ), используемых для достижения начального уровня.

Алгоритм решения прямых задач предусматривает выполнение следующих процедур:

1. Выбирается один из вариантов технологии, принимаемый условно за нулевой, отображаемый кодом 00000 и логическим произведением  $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4\bar{x}_5$ ;

2. С учетом используемой системы ранжирования задается десятичный номер уровня совершенства технологии, который необходимо достичь. Определяется кодовая комбинация и соответствующее логическое произведение. Например, седьмому уровню соответствуют признаки 00111 и  $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4x_5$ ;

3. Поразрядным сравнением логических переменных начального и заданного уровня определяются условия достижения поставленной цели. Для рассматриваемого примера достижение заданного уровня потребует применения материалов с лучшими физико-химическими характеристиками, разработки технологических процессов на новых физических принципах и реализации новых технологических режимов.

Применение алгоритма на различных уровнях наукоемких технологий позволяет определить потенциальные возможности вариантов развития технологий в условиях действия ограничений на материальные, финансовые, временные и интеллектуальные ресурсы. Многообразие вариантов сочетания ограничений и целей обуславливает высокую размерность множества прикладных задач, успешное решение которых определяет достижимые уровни развития наукоемких технологий в реальных условиях. Расширение множества оптимизационных задач происходит при повышении уровня развития технологий.

Рассматриваемый способ формализации процедур оценки количественных характеристик показателей уровня качества высоких технологий предусматривает применение аппарата математической логики, что влечет возможность использования методов и средств информационных технологий и компьютерной математики. Расширение возможностей такого аппарата достигается дополнением преимуществ

двоичного кодирования содержательной интерпретацией каждой кодовой комбинации. Такие особенности являются достаточными для создания информационно-аналитических систем анализа и проектирования высоких технологий с использованием словесных формулировок содержания решаемых задач и полученных результатов в терминах, применяемых для ранжирования критериев совершенства.

Анализ методики показывает, что наиболее высокие уровни развития технологий являются результатом усовершенствования теоретических основ базовых процессов, разработки адекватных математических моделей и синтеза материалов с лучшими физико-химическими характеристиками. Подобные инновации часто сопровождаются скачкообразным повышением уровня качества, рассматриваемым как смена поколений технологии. Совершенствование физико-химических основ и технологических режимов производства в этой системе приоритетов рассматриваются как эволюционные процессы плавного повышения уровня качества в относительно узких пределах. Пределом эволюционного совершенствования технологий является скачкообразный переход на следующий, более высокий уровень, часто обусловленный заменой технологической базы оборудованием нового поколения.

Многоуровневые характеристики наукоемкой продукции высоких технологий обуславливают существование проблемы «измерения качества», т.е. определения не только количественных характеристик показателей качества, но и затрат различных ресурсов для достижения заданных уровней. Введение и использование количественных оценок затрат ресурсов становится необходимостью с учетом многообразия путей достижения для заданного уровня качества технологии. Эволюционное развитие может сочетаться с элементами скачкообразного развития в виде множества малых скачков, скачкообразное развитие может осуществляться в виде единственного «большого скачка». Очевидно, что из множества вариантов траекторий развития технологии до заданного уровня можно выделить предпочтительные, в пределе – оптимальные, с учетом реально существующих ограничений на финансовые, материальные, интеллектуальные, временные и другие виды ресурсов. Подобные задачи, по определению, являются многокритериальными и не имеют строгих формальных решений, что обуславливает необходимость разработки полуквантитативных методов для объективизации оценок различных вариантов.

Одна из моделей векторного представления траекторий развития технологий отображает задаваемое множество различных уровней развития технологии системой концентрических окружностей на плоскости. Центральная точка соответствует нулевому уровню, а номер  $i$  каждой окружности соответствует уровню совершенства технологии в принятой системе ранжирования. Изменение радиуса окружностей с одинаковым шагом соответствует линейному приближению, когда номер  $i$  определяет величину радиус-вектора для любой точки на окружности. Зависимость шага от номера уровня определяет степень нелинейности модели, отражающую предысторию развития конкретной технологии и прогноз или планы ее развития на заданный период. Положение характеристической точки на одной из окружностей как в линейном, так и в нелинейном приближении определяет уровень технологии в десятичном эквиваленте, а длина вектора, соединяющего центральную и характеристическую точки отображает, с учетом процедур нормирования и масштабирования, уровни затрат различных видов ресурсов. Нормированная длина  $i$  – го вектора

$$l_i = i/N = i/(2^n - 1). \quad (3)$$

Возможность совпадения характеристической точки с любой точкой окружности для каждого уровня отражает вариативность отображения затрат времени для достижения соответствующего уровня. В нормированном виде затраты временных ресурсов определяют угловое положение каждого вектора относительно любой из осей,

принимаемых за начало отсчета. В линейной модели угол изменяется пропорционально номеру уровня

$$\alpha_i = 2\pi ik / (2^n - 1) = 2\pi kl_i, \quad (4)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности, а нелинейная модель может учитывать более сложные закономерности, отражающие специфику развития конкретной технологии в виде функциональной зависимости  $k = k(i)$ . При одномоментном изменении уровня модуль вектора растет без изменения углового положения (4), что соответствует условию  $k = 0$ , как для линейной, так и для нелинейной модели. Реальное развитие технологий происходит во времени, когда средний темп замены уровня

$$\tau_i = \frac{i}{\alpha_i} = \frac{i}{2\pi k(i)l_i} = \frac{2^n - 1}{2\pi k(i)} \quad (5)$$

в линейном приближении является величиной постоянной, а в нелинейной модели определяется видом функции  $k(i)$ .

Произведение времени достижения  $i$  - го уровня на нормированную характеристику затрат для этого уровня определяет ресурсоемкость каждого уровня

$$r_i = \alpha_i l_i = \frac{2\pi i^2 k(i)}{(2^n - 1)^2} = \frac{2\pi i l_i k(i)}{2^n - 1}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что даже в линейном приближении ресурсоемкость растет по закону квадратичной параболы от номера уровня  $i$ . В рамках нелинейной модели зависимость становится еще более сложной. Полученная закономерность (6) отражает закономерность непропорционального роста затрат различных видов ресурсов для достижения высоких уровней совершенства наукоемких технологий. Пропорциональная зависимость ресурсоемкости (6) от коэффициента  $k(i)$  отражает реальные тенденции сокращения, при прочих равных условиях, суммарных затрат ресурсов при уменьшении времени достижения заданного уровня.

Уравнения (3) – (6) получены для векторов, выходящих из центральной точки. При дискретном пошаговом изменении положения таких векторов концы их определяют точки, лежащие на траектории эволюционного развития технологии. Такие траектории могут быть представлены последовательностью векторов, соединяющих концы векторов предшествующего и последующего уровней. Любое нарушение такой последовательности означает формирование новой траектории, содержащей скачки различной размерности, определяемой числом пропущенных точек базовой траектории. Очевидно, что изменение траектории развития технологии в рамках рассматриваемой модели сопровождается соответствующими изменениями показателей (3) – (6). Многообразие вариантов построения траекторий, соединяющих начальный или промежуточный уровень с заданным уровнем развития технологий, обуславливают существование задач многокритериальной оптимизации развития наукоемких технологий.

Рассматриваемая модель может быть адаптирована к прикладным задачам развития техники и технологий в различных отраслях. Привязка к предметной области обеспечивается назначением параметра  $n$  - числа поколений, нормированием и масштабированием векторов состояний, уточнением, при необходимости, функциональных зависимостей модуля и угла положения векторов текущего и перспективного состояний технологий.

Геометрическое отображение событий на плоскости позволяет использовать аппарат прямолинейной тригонометрии, в частности теорию косоугольных треугольников, [3] для определения количественных характеристик скачков в составе

различных траекторий. Определение параметров скачка сводится к нахождению третьей стороны косоугольного треугольника с двумя известными сторонами и углом между ними. Формальная постановка задачи сводится к решению системы уравнений

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b} \operatorname{ctg} \frac{C}{2}, \quad \frac{A+B}{2} = \frac{\pi}{2} - \frac{C}{2}, \quad c = \frac{a \sin C}{\sin A}, \quad (7)$$

где  $a, b, c$  - стороны косоугольного треугольника,  $A, B, C$  – противолежащие им углы. Решение системы уравнений (7) в виде длины  $c$  вектора, характеризующего уровень скачка, соединяющего концы векторов конечного состояния с номером  $i$  и начального состояния с номером  $j$ , имеет вид

$$c = \frac{i}{2^n} \frac{\sin \frac{2\pi(i-j)}{2^n}}{\sin \left\{ \operatorname{arctg} \left[ \frac{i-j}{i+j} \operatorname{ctg} \frac{\pi(i-j)}{2^n} \right] + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi(i-j)}{2^n} \right\}}. \quad (8)$$

Результаты аналитического исследования модели развития технологий (8) до уровней высоких в среде *MATHCAD* представлены в виде графиков, нормированных относительно максимального значения  $c_{\max} = 1,5$ , на рисунке

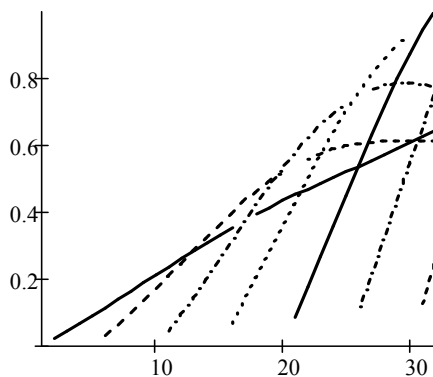


Рисунок. Траектории развития технологий с различными начальными уровнями  $j=0 \dots 30$  с интервалом в пять уровней:  $j=0, 20$  – сплошная линия;  $j=5, 30$  – пунктир;  $j=10, 25$  – штрих-пунктир;  $j=15$  – точки.

Анализ закономерностей изменения  $c$  показывает, что, даже в рамках относительно простой линейной модели, существуют различные пути достижения заданного уровня. Это означает, что из множества реализуемых траекторий движения рабочей точки можно выделить предпочтительные, с различными соотношениями этапов эволюционного и скачкообразного развития технологий.

Отмеченная особенность иллюстрируется характеристическими точками пересечения нескольких траекторий с параметрами  $(i, j)$  на рис.1. В частности, точка с параметрами (13,1) отражает возможность достижения нормированного уровня качества 0,286 путем эволюционного совершенствования технологии с первого по тринадцатый уровень. При этом суммарные затраты отображаются длиной траектории

$$l_{13,1} = \sum_1^{13} l_{k,k-1}, \quad (9)$$



где  $l_{k,k-1}$  - длина вектора, соединяющего концы векторов  $k$ -го и  $k-1$  - го уровней.

Соотношение

$$q_{13,1} = l_{13,1}/l_{13,0}, \quad (10)$$

где  $l_{13,0}$  - длина вектора, соединяющего центральную точку с траекторной точкой 13-го уровня, рассчитываемая по (3), дает количественную оценку отклонения рассматриваемой траектории от оптимальной (минимальной) траектории.

Альтернативная траектория (13,5) достижения уровня 0,286 содержит интервалы скачкообразного развития с общей протяженностью, определяемой геометрической суммой векторов

$$l_{13,5} = l_{0,5} + l_{5,13}.$$

Оценка потенциальной избыточности такой траектории принимает вид

$$q_{13,5} = \frac{l_{0,5} + l_{5,13}}{l_{13,0}}. \quad (11)$$

Векторная интерпретация критериев (10) и (11) показывает, что всегда выполняется условие

$$q_{13,5} < q_{13,1}, \quad (12)$$

т.е. скачкообразное развитие обеспечивает более эффективное использование ресурсов на том же временном интервале, но требует большего объема первоначальных затрат различных ресурсов, что является сдерживающим фактором для такого развития высоких технологий.

Представленные на рисунке характеристические точки пересечения различных траекторий на более высоких уровнях (17,1 и 17,10), (20,5 и 20,10), (22,5 и 22,15), (26,1 и 26,20), (29,10 и 29,20), (31,1 ; 31,5 и 31,25), (31,15 и 31,20) подтверждают отмеченные закономерности с возрастающей степенью неравенства вида (12). Это означает, что проблема оптимизации траекторий особенно актуальна для высоких, близких к предельно-достижимым, уровней развития наукоемких технологий. Решение ее в каждом конкретном случае связано с оптимизацией затрат временных, финансовых, интеллектуальных и технических ресурсов в условиях действующих ограничений.

Рассмотренные на концептуальном уровне основные закономерности развития наукоемких технологий могут быть преобразованы в методики поиска и оптимизации проектных решений для прикладных технологий. Для разработки подобных методик используется максимальный объем информации в виде технических и ресурсных характеристик ближайших прототипов. Необходимыми являются сведения о достигнутых и прогнозируемых уровнях и темпах развития технологий в базовой и смежной отрасли.

Литература:

1. Щука А.А. Функциональная электроника: Учебник для вузов: - М.: МИРЭА, 1998. – 260 с.
2. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. Изд. 3-е, перераб. и доп., М., «Энергия», 1974.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: «Наука», 1965.

Hi – Tech. The Developments Of Trajectories  
V.N. Ustyuzhaninov

The models of the evolutionary and uneven improving of the science technology are considered in this article.

