

# АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

УДК 37.013.32

*Т. М. Белоусова,  
С. П. Кухаренко,  
Е. М. Лещенко,  
Е. В. Рыжкова*

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Аннотация: в статье рассматривается автоматизация процесса решения изобретательских задач на основе математического моделирования с применением вепольного анализа.*

*Анализируется возможность применения современных информационных технологий для создания автоматизированных экспертных систем на базе представленных математических методов для выработки генеральной стратегии развития новейших технических средств.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, минимизация вариантов решения, вепольный анализ, изобретательские задачи.*

UDC 37.013.32

*T. M. Belousova,  
S. P. Kukhareenko,  
E. M. Leschenko,  
E. V. Ryzhkova*

## MANAGING THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF TECHNICAL SYSTEMS WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES

*Abstract: the article describes the automating the process of solving inventive problems on the basis of mathematical modeling using wepol analysis.*

*The possibility of using modern information technologies to create automated expert systems based on the presented mathematical methods to develop a general strategy for the development of new technical means is analyzed.*

*Keywords: mathematical modeling, minimization of solution options, wepol analysis, inventive problems.*

### **Введение**

Известно, что время, затрачиваемое на решение изобретательских задач, обусловлено границами поисковых полей [1—3]. Чтобы найти только один нужный вариант решения методом проб и ошибок, необходимо проделать множество «пустых» проб. При этом не следует путать изобретательские задачи с задачами техническими, инженерными, конструкторскими. Задача становится изобретательской только в том случае, если для ее решения необходимо преодолеть какое-то противоречие (административное АП, техническое ТП, физическое ФП) [1]. Нужны приемы, позволяющие выявлять и устранять противоре-

чия, содержащиеся в изобретательских задачах. Таким образом, главная стратегия изобретательства сводится к управляемому процессу развития технических систем (ТС), ускоряющему достижение конечного результата. Объективную оценку современности, актуальности и полезности результатов конструкторской разработки способна дать экспертиза, основанная на двойственном представлении технической системы [2, 3]: с одной стороны — ее абстрактное представление, в виде проектно-конструкторской разработки; с другой стороны — реально существующая конструкция, как интерпретация технической системы. Заметим, что современное абстрактное представле-

ние конструкторской разработки выполняется, как правило, в интегрированной программной среде (например, SolidWorks) на базе современных информационных технологий и в конструкторской практике называется «виртуальной технической системой». В настоящее время объективная экспертиза решения изобретательской задачи играет приоритетную роль по отношению к существовавшей практике проектно-конструкторских разработок, так как позволяет грамотно регулировать стратегию инвестиционных потоков [4]. Рассмотрим возможно-

сти автоматизации процесса решения изобретательских задач с привлечением современных информационных технологий.

### Автоматизация процесса решения изобретательских задач

Известно, что законы развития технических систем можно представить графически, как показано на рис. 1 [5], иллюстрирующем изменение во времени главных характеристик технической системы (мощность, производительность, скорость, число выпускаемых систем и т. д.).

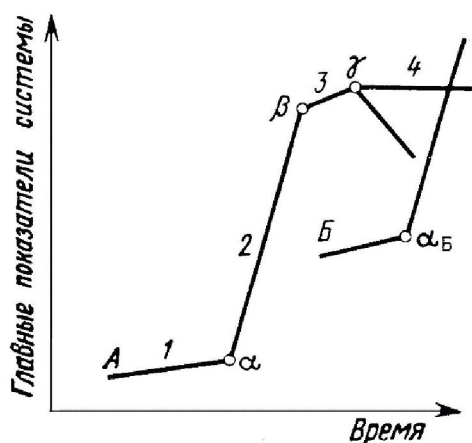
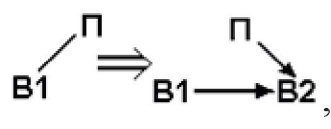


Рис. 1. «Линии жизни» технических систем (ТС)

Участок 1 отображает начальное (медленное) развитие технической системы А по этапам. Так, например, закономерность развития судовых движителей от весельного к парусному, винтовому, а затем и к другим движителям, на ранних стадиях изобретательской деятельности, хорошо согласуется с описанием участка 1. Участок 2 соответствует этапу быстрого совершенствования ТС, который завершается ее массовым применением. Так, например, для водного транспорта на этом этапе было достигнуто массовое производство речных и морских судов, однако отчетливо проявилось противоречие. Увеличение скорости движения судна резко увеличивало гидродинамическое сопротивление его корпуса, что в свою очередь препятствовало возможности дальнейшего увеличения скорости его перемещения на воде. Таким образом, сформировалась изобретательская задача, решение которой требовало преодоления противоречия. На первом и втором этапе это противоречие можно было преодолеть, добиваясь

оптимального сочетания формы корпуса корабля и мощности двигателя. Символьное решение на этих этапах можно представить как некоторое преобразование вепольной структуры [1], которое в теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) известно, как достройка неполной триады до полного треугольника и подчиняется законам «статики» и «кинематики» развития ТС [5]



где буквой  $\Pi$  — обозначено поле (например, силовое поле),  $B1$  — вещество (например, вода), на которое воздействует второе вещество (например, вещество, из которого изготовлен корпус корабля) —  $B2$ ; связи обозначены стрелками. Два вещества и поле могут быть самыми различными, но они необходимы и достаточны для образования минимальной технической системы, получившей название веполь (от слов «вещество» и «поле»)

[1]. В вепольных формулах вещества надо записывать в строчку, а поля сверху и снизу. Это позволяет нагляднее отразить действие нескольких полей на одно и то же вещество.

С точки зрения математического моделирования, работа изобретателя, отраженная на первом и втором участке «линии жизни», может быть представлена с помощью теории катастроф [6], так как катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий. При катастрофе под действием управляющих параметров система переходит из одного стационарного состояния в другое. Поэтому движение мысли изобре-

тателя можно уподобить движению шарика в потенциальной яме, глубина которой задается потенциальной функцией [6]

$$V(x) = 0,25x^4 + 0,5ax^2 - tx, \quad (1)$$

где  $x$  — идеальность технической системы (ТС);  $a$  и  $t$  — параметры.

Нетрудно видеть, что формула (1) выражает потенциальную функцию элементарной катастрофы типа «сборки», представленную в таблице канонических катастроф и на рис. 2

$$E(x, \lambda) = x_1^4 + \lambda_1 \frac{x_1^2}{2} + \lambda_2 x_1, \quad (2)$$

с точностью до масштаба и знаков управляющих параметров ( $\lambda_i$  — мощность конфликта).

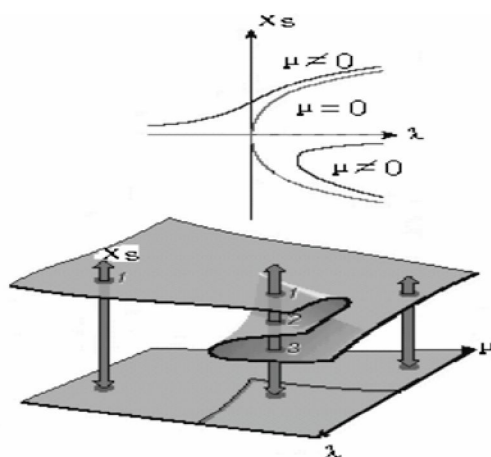


Рис. 2. Проектирование сборки [5]

Т а б л и ц а

Канонические катастрофы [6]

k	n	Каноническая форма $E(x, \lambda)$	Название
1	1	$\frac{x_1^3}{3} + \lambda_1 x_1$	Складка
2	1	$\frac{x_1^4}{4} + \lambda_1 \frac{x_1^2}{2} + \lambda_2 x_1$	Острые или сборка
3	1	$\frac{x_1^5}{5} + \lambda_1 \frac{x_1^3}{3} + \lambda_2 \frac{x_1^2}{2} + \lambda_3 x_1$	Ласточкин хвост
4	1	$\frac{x_1^6}{6} + \lambda_1 \frac{x_1^4}{4} + \lambda_2 \frac{x_1^3}{3} + \lambda_3 \frac{x_1^2}{2} + \lambda_4 x_1$	Бабочка
3	2	$x_1^3 + x_2^3 + \lambda_1 x_1 x_2 + \lambda_2 x_1 + \lambda_3 x_2$	Гиперболическая омбилика
3	2	$x_1^3 - 3x_1 x_2^2 + \lambda_1 (x_1^2 + x_2^2) + \lambda_2 x_1 + \lambda_3 x_2$	Эллиптическая омбилика
4	2	$x_1^2 x_2 + x_2^4 + \lambda_1 x_1^2 + \lambda_2 x_2^2 + \lambda_3 x_1 + \lambda_4 x_2$	Эллиптическая омбилика
5	1	$x_1^7 + \lambda_1 x_1^5 + \lambda_2 x_1^4 + \lambda_3 x_1^3 + \lambda_4 x_1^2 + \lambda_5 x_1$	Вигвам

где  $k$  — число управляющих параметров,  $n$  — число конфликтных пар.

При  $a < 0$  и времени  $t = 0$  график функции (1), показан на рис. 3, симметричен и имеет вид двух «ям» равной глубины. Расстояние между минимумами этих «ям»

равно  $\Delta x = 2\sqrt{-a}$ , а высота разделяющего их «бугра»

$$\Delta V = V(0) - V(x_{1,2}) = 0,25a^2. \quad (3)$$

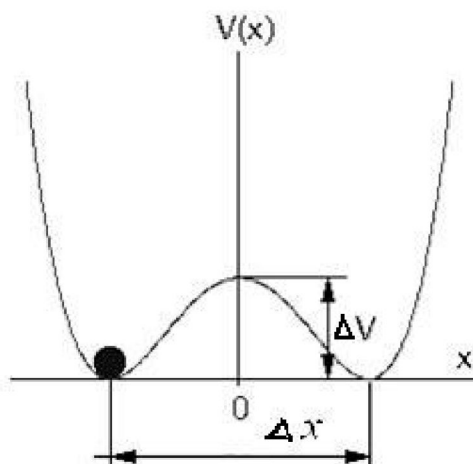


Рис. 3. Потенциальная яма для движения мысли изобретателя

Левая яма интерпретируется как идея исходной ТС или прототипа, а правая яма — как идея усовершенствованной ТС, изобретения. Параметр « $t$ » — время, с течением которого идея прототипа (левая яма) постепенно заменяется идеей изобретения (правой ямой) с более высокой идеальностью. Расстояние между ямами по оси  $x$ , то есть  $\Delta x$ , характеризует приращение идеальности при переходе от прототипа к изобретению, как идеальному конечному результату. Таким образом, параметр « $x$ » — характеризует идеальность технической системы [5], т. е. выполнение требуемых функций при ее отсутствии.

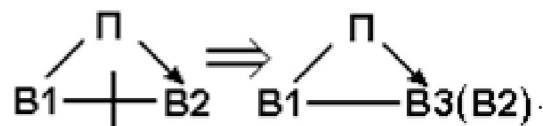
Высоту  $\Delta V$  «бугорка», разделяющего эти потенциальные ямы, естественно интерпретировать как познавательно-психологический барьер (ППБ), препятствующий мысли-шарику перейти от прототипа к изобретению даже в тех случаях, когда идея изобретения уже «созрела» и «висит в воздухе». (Например, избавиться от гидродинамического сопротивления воды можно, подняв каким-то образом корпус судна над водой). Следовательно, чем больше скачок в идеальности  $\Delta x$  требуется от изобретателя (чем выше уровень изобретения), тем более абстрактным должны быть его рассуждения.

Мерность пространства изобретательской задачи зависит от количества веществ и полей, которые могут образовать конфликтную пару. Пока, в рамках существующего АРИЗа

(алгоритм решения изобретательской задачи), такая конфликтная пара всего одна, то и отыскивается она, как место наибольшего проявления нежелательного эффекта. В таких случаях вепольный анализ проводится по законам «статики» и «кинематики» развития ТС. Если нежелательный эффект один, то и пара получается одна. Таким образом, уравнение (1) представляет статическую модель технического противоречия или модель канонической катастрофы.

Понятно, что в исходной ситуации или прототипе может быть несколько нежелательных эффектов, или одному нежелательному эффекту может соответствовать несколько конфликтных пар, что и обуславливает спад темпов развития технической системы. Такая ситуация соответствует участку 3 или участку 4 на рис. 1.

Решение изобретательской задачи на этих этапах можно представить как разрушение старой треугольной структуры с последующей постройкой новых образований типа триад, тетрад и т. п.:



Полный веполь, который разворачивается в более сложные вепольные модели (цепные или двойные), называется многомерным веполем.

Решение изобретательской задачи в таких случаях выполняется по законам «динамики» развития ТС. Одномерная динамическая модель технического противоречия может быть представлена дифференциальным уравнением [6]

$$KT \frac{dx}{dt} = -\frac{\partial V(x)}{\partial t} = -\text{grad}V(x) = -x^3 + \lambda \cdot x + \mu, \quad (4)$$

где  $T$  — постоянная времени, учитывающая инерционность мышления изобретателя;  $K$  — масштабирующий множитель;  $\lambda$  — мощность конфликта;  $\mu$  — объем внешнего ресурса, необходимого для решения задачи.

Области устойчивости такой модели определяются методом Ляпунова и соответствуют участку 3, показанному на рис. 1, когда темпы развития начинают спадать. Далее, после точки  $\gamma$  возможны два варианта. Техническая система А может деградировать, сменяясь принципиально другой системой Б (примером является переход от корпуса судна, контактирующего с водяной поверхностью, к судам на воздушной подушке, корпус которых отделен от воды воздушным слоем). Пара антисимметричных логистических кривых А и Б, показанных на рис. 1, определяет динамику развития противоречия и представляет решение нелинейного дифференциального уравнения Ферхюльста-Перла [6]. Другой вариант предусматривает сохранение достигнутых показателей на долгое время, чему соответствует участок 4 рис. 1. Пример такой ТС представляет современный пароход, не претерпевший существенных изменений на протяжении длительного времени.

«Линия жизни» ТС позволяет сформулировать один из основных законов их развития: система А становится подсистемой Б, по мере своего развития.

Используя «свод» представленных выше законов, можно разработать программное решение изобретательских задач. Для этого требуется точный анализ взаимодействия веществ и энергий в оперативной зоне такой задачи — вепольный анализ. Шаги вепольного анализа можно автоматизировать, используя логические функции среды программирования MathCAD или MathLab. На примере водного транспорта можно проиллюстрировать возникновение противоположных свойств технического противоречия (ТП). Вещества В1 и В2 (например, вода и воздух), обуславливают главное

техническое противоречие водного транспорта: чем выше скорость, тем больше гидродинамическое сопротивление воды, препятствующее быстрому перемещению корпуса корабля. Подъем корпуса судна в воздух, благодаря подводным крыльям, существенно снижает гидродинамическое сопротивление.

Для математического моделирования непрерывного инновационного процесса решения изобретательских задач необходимо выполнить следующие шаги:

1. Выбрать дифференциальные или интегральные уравнения имитации движения мысли изобретателя (модель нового знания).

2. Ввести в уравнения управляющие параметры, изменением которых можно выйти в критическую точку и получить далее ветвящийся процесс.

3. Подобрать уравнения, имеющие некоторое единое свойство для разных структур уравнений, т. е. имеющие некоторый инвариант.

4. Уравнения должны реагировать на случайные воздействия, отражающие состояние внешней среды в критической точке с целью выбора той или иной альтернативы.

5. Уравнения должны быть нелинейными.

Последний пункт рассмотрим более подробно на примере критического случая для технической системы, когда плавное изменение ее управляющих параметров приводит к внезапному переходу системы из одного стационарного состояния в другое, т. е. к катастрофе. В этом случае можно сказать, что изменение параметров управляет структурой технической системы, поэтому эти параметры можно назвать управляющими. При математическом описании системы управляющие параметры входят в соответствующие уравнения [6].

Численные результаты решения обычно представляются в виде графиков, выражающих зависимости между параметрами. Качественные отличия одного графика от другого определяются положением критических точек (точек максимума, минимума и т. д.). Под качеством понимается тип устойчивости или неустойчивости критической точки. В теории управления такими критическими точками являются состояния равновесия, представленные на рис. 4.

При  $\lambda < 0$  потенциальная функция имеет локальные максимум (точка б) и минимум (точка а).

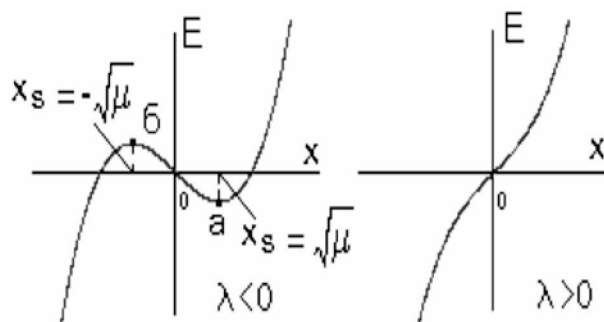


Рис. 4. График потенциальной функции катастрофы типа «складки» ( $\lambda$  — управляющий параметр функции)

Максимум соответствует неустойчивому состоянию равновесия, а минимум — устойчивому. При изменении знака управляющей функции ( $\lambda > 0$ ) происходит катастрофа: локальные максимум и минимум исчезают, как показано на рис. 4. Такую катастрофу Р. Том назвал канонической. Аналогично канонической катастрофой будет и сборка, показанная на рис. 3: одно устойчивое состояние равновесия в докритической области, превращается в два устойчивых состояния равновесия и одно неустойчивое в закритической области. Сборка имеет уже два управляющих параметра с канонической потенциальной функцией, представленной в соответствующей строке таблицы «Канонические катастрофы».

### Выводы

Математическое моделирование непрерывного инновационного процесса решения изобретательских задач позволяет существенно сократить количество так называемых «пустых проб», минимизируя при этом количество нужных вариантов решения изобретательской задачи.

Последующее применение вепольного анализа позволяет найти только один нужный вариант решения.

Образование новой минимальной технической системы подчиняется законам «статики» и «кинематики» ее развития с достройкой неполной триады веществ и поля до полного треугольника (веполя), соответствующего нужному решению изобретательской задачи.

При наличии в прототипе нескольких нежелательных эффектов или нескольких конфликтных пар, нужное решение изобретательской задачи выполняется по законам «динамики» развития технических систем и требует анализа многомерных веполей.

Представленный алгоритм моделирования технического противоречия как динамического объекта показал возможность формализации решения изобретательских задач высшего уровня.

Применение современных информационных технологий позволяет создать автоматизированные экспертные системы на базе представленных математических методов для выработки генеральной стратегии развития новейших технических средств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер. — Петрозаводск : Скандинавия, 2004. — 208 с.
2. Панченков А. Н. Асимптотические методы в задачах оптимального проектирования и управления движением / А. Н. Панченков, Г. М. Ружников. — Новосибирск : Наука, 1990. — 265 с.
3. Горский Ю. М. Системно-информационный анализ процессов управления / Ю. М. Горский. — Новосибирск : Наука, 1988. — 327 с.
4. Царев Б. А. Пути обеспечения конкурентоспособности проектных решений / Б. А. Царев // Морской вестник. — 2005 — № 4 (16). — С. 49—56.
5. Бушуев А. Б. Замкнутое управление конфликтом в изобретательской задаче / А. Б. Бушуев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Вып. 33. Технологии управления / Гл. ред. В. Н. Васильев — СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2006. — С. 24—29.
6. Эвелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В. Эвелинг, А. Энгель, Р. Файстель. — М. : УРСС, 2001. — 267 с.
7. Лещенко Е. М. Модели и алгоритмы организационной поддержки управления

в образовательных системах / Е. М. Лещенко // Регион: системы, экономика, управление. — 2011. — № 4 (15). — С. 164—170.

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж*

*Белоусова Т. М., кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин*

*E-mail: t-belousova@mail.ru*

*Тел.: +7920 406 57 25*

*Кухаренко С. П., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин*

*E-mail: serp49@rambler.ru*

*Тел.: +7961 029 61 16*

*Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Воронежский филиал)*

*Лещенко Е. М., доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой моделирования и организации социальных систем*

*E-mail: l.e.m.@bk.ru*

*Тел.: +7910 341 43 19*

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж*

*Рыжкова Е. В., кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры математики*

*E-mail: dikareva\_ev@mail.ru*

*Тел.: +7910 732 21 53*

**УДК 631.95**

*Е. В. Недикова,  
Э. А. оглы Садыгов,  
И. А. Некрасова*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*Аннотация: землепользования Центрально-Черноземного региона характеризуются тем, что ведение сельского хозяйства осуществляется на склоновых поверхностях. В связи с этим для снижения ущерба от поверхностного смыва и заноса дорог жидким и твердым стоком с эрозионных водосборов осуществляется очаговая лесомелиорация склонов. Несмотря на значительные затраты на эти виды работ, они достаточно эффективны. В исследовании выявлено, что необходимо осуществлять обустройство территории региона для уменьшения и, в последствии, ликвидации процессов деградации склоновых земель. Эти мероприятия должны носить системный, комплексный характер, а их состав и соотношение должно находиться в прямой зависимости от факторов деградации с безусловным учетом природно-климатических и социально-экономических условий территории.*

*Ключевые слова: природопользование, землепользование, эрозионные процессы, деградация почв, склоновые земли, эродированность, противоэрозионные мероприятия.*

**UDC 631.95**

*E. V. Nedikova,  
A. A. oglu Sadigov,  
I. A. Nekrasova*

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE USE OF LAND RESOURCES BASED ON THE ANALYSIS OF THE PROCESSES OF DEPLANTATION OF SLOPE LANDS**

*Annotation: the land use of the Central Black Earth region is characterized by the fact that agriculture is carried out on sloping surfaces. In this regard, in order to reduce damage from the surface erosion and drift of roads by liquid and solid runoff from erosion watersheds, focal forest*