

*Аналіз відомих методів математичного моделювання приводить до висновку, що побудувати за їх допомогою адекватну математичну модель «великої» системи неможливо. Розроблена і пройшла успішну експериментальну перевірку вискоєфективний метод моделювання «великих» систем будь якої фізичної природи.*

*Ключові слова:* «велика» система, моделювання, прогнозування, оптимізація.

*Анализ известных методов математического моделирования приводит к выводу о том, что построить с их помощью адекватную математическую модель «большой» системы практически невозможно. Разработан и прошел успешную экспериментальную проверку высокоэффективный метод моделирования «больших» систем любой физической природы.*

*Ключевые слова:* «большая» система, моделирование, прогнозирование, оптимизация.

*The analysis of known methods of mathematical modeling leads to a conclusion what to construct with their help adequate mathematical model of the «big» system it is almost impossible. The highly effective method modelirovaniya «the big» systems of any physical nature is developed and has passed successful experimental check.*

*Keywords:* «the big» system, modeling, forecasting, optimization.

## 1. Введение

В эпоху античности и в средние века образованным считался человек, который умел читать и писать. А если он еще умел и считать, то считался всесторонне образованным.

По мере развития и дифференциации науки и производства возникла определенная специализация. Специалистом стал считаться человек, компетентный в своей предметной области. Требования к специалисту были не высоки — он должен был знать о своей профессии больше и уметь делать лучше, чем неспециалисты.

При советской власти, в условиях жесткой конкуренции с другими странами существенно возросли требования к качеству обучения. Однако закрытость СССР оставляла практически единственный доступ к мировой научной и технической мысли — через реферативные журналы, то есть не требовалось знание иностранных языков. Парадигма обучения по сравнению со средневековой изменилась только качественно и формулировалась следующим образом: «Чем специалист больше знает и умеет в своей предметной области, тем выше его квалификация».

По мере внедрения компьютерной техники в практику работы научных организаций и производство возникла еще одна составляющая оценки качества специалиста — компьютерная грамотность.

Окно в мир, открытое Горбачевым, постепенно начало менять прежнюю парадигму, и при оценке квалификации специалиста начало учитываться и знание международного языка научного общения — английского языка.

После развала Советского Союза ученым и специалистам стали доступны результаты работ их западных коллег. Оказалось:

- США ежегодно публикуют около 250 тыс. научных статей, а Россия — 23 тыс.;

- среди 3750 лучших научных журналов мира 1500 — американских и только 71 — российский.

После создания мировой паутины — Интернета большая часть опубликованной в мире научной и технической информации стала доступна специалистам, владеющим английским языком.

В этих условиях знание языка международного общения — английского языка стало необходимым составляющей при оценке квалификации специалиста.

Т. о. существующая парадигма оценки квалификации специалиста покоится на 3-х китах:

- профессиональных знаниях и умениях в соответствующей предметной области;
- компьютерной грамотности;
- знании английского языка.

## 2. Недостатки существующей парадигмы образования

При обучении студент получает новые знания от преподавателей и из литературы.

При этом в большинстве случаев знания о различных аспектах изучаемой дисциплины преподносятся как истина в последней инстанции.

Возможно, для работы в гуманитарных областях (истории, географии, философии и др.) существующая парадигма образования все еще остается корректной.

Однако практика жизни показала, что для работы в области медицины, прикладной науки и технологий, полученных при обучении знаний существенно не хватает,

УДК 378

# НОВАЯ ПАРАДИГМА В ОБРАЗОВАНИИ

**Э. В. Потапенко**  
Кандидат технических наук  
Директор института\*

**О. В. Поркуян**  
Доктор технических наук  
Директор института  
Северодонецкий технологический институт\*\*

**М. Д. Кац**  
Доктор технических наук, профессор\*  
Контактный тел.: (252) 30-87-5  
E-mail: mdkats@is.ua

\*Кафедра вычислительной математики  
и компьютерных технологий  
Рубежанский химико-технологический институт\*\*

\*\*Восточноукраинский национальный  
университет им. В. Даля  
ул. Ленина, 31. г. Рубежное, Луганская обл., 93009

даже если молодой специалист окончил ВУЗ с красным дипломом.

В 20 веке произошла «Научно-техническая революция», которая привела к небывалому развитию промышленности, позволившей создать новый этап в развитии цивилизации, получивший название «Индустриальный мир».

Для оптимального преодоления глобальных проблем современного постиндустриального мира, выходящих за пределы эмпирических знаний человека, появилась острая потребность в освоении наук, необходимого для интеллектуального развития постиндустриальной цивилизации.

В начале 21 века возникли глобальные проблемы, выходящие за пределы эмпирических знаний человека, и появилась острая потребность в оптимальном преодолении этих проблем для интеллектуального развития постиндустриальной цивилизации» [1].

Основной недостаток существующей системы образования — неспособность дать широкую подготовку, позволяющую выпускникам институтов понимать проблемы, стоящие в других областях и эффективно взаимодействовать с соответствующими специалистами.

«По мере расчленения науки на отдельные дисциплины уменьшается количество связей между ними и увеличивается вероятность замедления научно-технического прогресса из-за утраты возможностей общения. Наука — это система многообразных знаний, и развитие каждого элемента этой системы невозможно без их взаимодействия» [2].

---

### 3. Необходимость включения в существующую парадигму образования 4-й составляющей — методологии математического моделирования систем любой физической природы

---

Поскольку получение новых знаний об изучаемой системе в любой предметной области может быть достигнуто только с помощью построения адекватной этой системе математической модели, появилась необходимость разработки универсального метода математического моделирования.

Первой попыткой решения этой проблемы было создание кибернетики. Однако в составе кибернетики не были предложены новые корректные методы математического моделирования изучаемых систем по экспериментальным данным о значениях входных параметров и выходных показателей, фиксируемым в режиме наблюдения за работой системы.

В настоящее время общепринято, что познание любого реального объекта (процесса, системы) возможно лишь том случае, если удастся построить его адекватную математическую модель.

А поскольку с помощью математической модели в принципе можно получить новые знания об изучаемой системе любой физической природы, математическое моделирование должно быть включено в существующую систему образования в качестве 4-й составляющей.

В последнее время в качестве в качестве 4-й составляющей образования предлагается включить системный анализ.

Резкое возрастание требований к качеству подготовки выпускаемых высшей школой специалистов, необходимость междисциплинарного подхода к решению сложных вопросов, нарастание глубины и масштабности

проблем при ограничении сроков и ресурсов, отводимых на их решение, — все это значимые факторы, которые сделают преподавание системного анализа необходимым, более того, неизбежным.

Можно сделать твердый вывод о необходимости введения в современное образование дисциплины «системный анализ» — как одного из курсов в фундаментальной подготовке студентов, так и в виде новой специальности, существующей пока лишь в нескольких вузах мира», с. 10 [2].

---

### 4. Ограничения возможностей известных методов математического моделирования

---

Поскольку методологической основой системного анализа (как и кибернетики) является идентификация — построение математической модели изучаемой системы по экспериментальным данным, полученным в режиме наблюдения за ее работой, а корректные методы идентификации не известны, системный анализ и кибернетика не могут претендовать на роль 4-й составляющей парадигмы образования.

При изучении каждой предметной области:

- технологии химических, металлургических, нефтеперерабатывающих и др. производств;
- синтезе новых химических соединений, обладающих заданным комплексом потребительских свойств;
- разработке методов диагностики близких по проявлениям заболеваний в медицине;
- идентификации микроорганизмов внутри определенного семейства в микробиологии;
- оценке потенциальных способностей человека к выполнению определенных видов работ в психологии;
- разработке новых материалов, обладающих заданным комплексом потребительских свойств в материаловедении и др.

■ получение новых знаний о зависимостях выходных показателей от входных параметров должно достигаться с помощью построения математической модели изучаемой системы на основании таблицы экспериментальных данных, каждая строка которой содержит информацию о значениях входных параметров и выходных показателей в одной реализации изучаемой системы.

Однако, при решении задачи построения математической модели с помощью известных методов моделирования возникает множество проблем, связанных с тем, что подавляющее большинство изучаемых объектов по своим информационным характеристикам (высокой размерности векторов входных параметров и выходных показателей, существенным взаимным влиянием различных сочетаний входных параметров на выходные показатели и т. п.) относятся к классу «больших» систем.

4.1. Не известны корректные формальные методы выбора перечня существенных входных параметров. Выбор рационального числа входов модели следует производить экспертам [3].

Есть одна совершенно не формализованная процедура при построении моделей: выбор величин, характеризующих процесс, между которыми устанавливаются определяющие математические связи [4].

Доказано, что даже в самой тщательно составленной модели нельзя учесть все факторы, которые могут воздействовать на управляемую систему [5].

Имеющиеся работы по выделению наиболее информативного множества признаков можно рассматривать как первые попытки подхода к проблеме [6].

4.2. Не известны корректные формальные методы свертки множества выходных показателей в обобщенный критерий оценки эффективности работы изучаемой системы.

Неопределенность цели состоит в многокритериальности [7].

Основной проблемой при решении задач многокритериальной векторной оптимизации является способ сворачивания всех критериев в один глобальный.

Процесс решения многокритериальной задачи состоит в поиске и использовании дополнительной информации, с помощью которой многокритериальная задача сводится к однокритериальной.

Свертка частных критериев оптимизации всегда является субъективным неформальным актом [8, 9].

4.3. При редукции изучаемой системы к ее элементарным свойствам (построении модели зависимости выходного показателя от каждого из входных параметров) с помощью известных методов нелинейной корреляции и построения линии регрессии на поле корреляции, не решена проблема выделения влияния каждого входного параметра на выходной показатель на фоне остальных входных параметров [10].

4.4. При редукции изучаемой системы к ее системным свойствам (построении модели зависимости выходного показателя от взаимного влияния входных параметров — метод регрессионного анализа и его многочисленные модификации) не известны корректные формальные методы:

- выбора перечня существенных входных параметров,
- свертки множества выходных показателей в обобщенный критерий оценки эффективности работы изучаемой системы,
- структурной идентификации (определения общего вида модели).

Априорная информация об объекте при структурной идентификации модели отсутствует или очень бедна. Методы решения задач структурной идентификации практически не разработаны, что можно объяснить чрезвычайной трудностью задачи [11, 12] параметрической идентификации (оценки коэффициентов, характеризующих степень влияния на выходной показатель каждого элемента структуры модели).

Для решения этой задачи обычно используют метод наименьших квадратов (МНК), однако все ограничения, при которых корректно использование МНК в реальных задачах не выполняются [13, 14].

Поэтому попытки решения задач изучения и совершенствования реальных сложных систем с помощью известных математических методов приводит к серьезным (а в подавляющем большинстве случаев и непреодолимым) методическим и вычислительным трудностям [14, 15].

Из-за отсутствия корректных методов идентификации в настоящее время практически все «большие» системы недостаточно изучены, неоптимальны и, соответственно, имеют большие потенциальные резервы для совершенствования.

Например, практически все действующие технологические процессы не оптимальны и имеют существенные резервы по повышению производительности и качества

продукции, снижению себестоимости и количества отходов производства.

---

## 5. Необходимость разработки новых методов идентификации

---

В настоящее время основной задачей прикладной математики является разработка новых методов идентификации, позволяющих по информации о значениях входных параметров и выходных показателей, фиксируемых в режиме наблюдения за изучаемым объектом (процессом, системой, явлением) любой физической природы, с помощью полностью формализованных процедур строить адекватные математические модели и с помощью этих моделей корректно и эффективно решать задачи прогнозирования поведения, диагностики состояния и оптимизации изучаемых систем любой физической природы.

Решение этой методологической проблемы позволяет:

1. Существенно повысить эффективность действующих технологических процессов в металлургии, химии, нефтепереработки и других областях по экономическим, потребительским, экологическим и прочим критериям. (Эффективно решать задачи ресурсо- и энергосбережения, снижения себестоимости и уменьшения количества отходов, повышение качества продукции и ее конкурентоспособности и др.).

2. Эффективно решать задачи:

- направленного синтеза новых химических соединений определенного класса, обладающих заданным комплексом потребительских свойств,
- дифференциальной диагностики близких по проявлениям заболеваний,
- ранней (в том числе и в латентном периоде) диагностики опасных для жизни, заболеваний (например, раковой болезни),
- выбора оптимальной стратегии лечения конкретной болезни с учетом индивидуальности больного,
- корректной формальной идентификации микроорганизмов,
- тестирования способностей человека к выполнению определенных видов работ,
- решения многих других проблем, связанных с изучением и совершенствованием «больших» систем любой физической природы.

Поскольку эффективность работы многих реальных систем определяется большим количеством входных параметров и выходных показателей, новый метод идентификации должен обеспечивать построение математической модели за приемлемое время при практически любых количествах входных параметров и выходных показателей.

---

## 6. Интеллектуальная методология изучения «больших» систем (ИМИБС) — методологическая основа идентификации и субоптимизации систем любой физической природы

---

Для эффективного решения перечисленных выше проблем разработана и прошла многолетнюю проверку при решении множества самых различных научно-исследовательских и практических задач Интеллектуальная методология изучения «больших» систем (ИМИБС).

С помощью ИМИБС эффективно решается задача идентификации — построения с помощью полностью формализованных процедур адекватной математической модели изучаемой системы любой физической природы по таблице экспериментальных данных, зафиксированных в режиме наблюдения за ее функционированием.

В ИМИБС формализована процедура решения многокритериальных задач. Она осуществляется с помощью:

6.1. Свертки выходных показателей в обобщенный критерий оценки эффективности изучаемой системы, измеряемый в:

- дискретных шкалах [16],
- континуальных шкалах [17].

6.2. Метода компромиссной субоптимизации, позволяющего путем сопоставления моделей оптимального управления по каждому из выходных показателей находить компромиссное решение, обеспечивающее существенное повышение эффективности работы изучаемой системы по каждому из выходных показателей [18–20].

ИМИБС включает в себя:

6.3. Метод восстановления одномерных зависимостей (МВОЗ), с помощью которого решается задача редукции изучаемой системы к ее элементарным свойствам — построения модели  $Y = F_i(X_i)$ ,  $i = 1, n$ , (1) [21–25].

МВОЗ позволяет с помощью полностью формализованных процедур решать следующие проблемы, возникающие при идентификации БС:

6.3.1. Выбора перечня существенных входных параметров.

При построении модели диапазоны значений каждого из входных параметров ( $X_i$ ) делятся на 3 поддиапазона и для каждого из них определяются средние значения входного параметра  $X_{i\text{cp}}$  и соответствующие ему значения выходного показателя ( $Y_{\text{cp}}$ ). По этим данным определяются:

- сила влияния ( $F_i$ ) каждого  $X_i$  на  $Y$  как разность между значениями  $Y_{\text{cp}}$  в лучшем и худшем поддиапазонах;
- резерв выходного показателя ( $R_i$ ) по каждому  $X_i$  как разность между значениями  $Y_{\text{cp}}$  в лучшем поддиапазоне и  $Y_{\text{cp}}$  во всех строках таблицы экспериментального материала.

Полученные оценки  $F_i$  и  $R_i$  позволяют формализовать процедуру выбора наиболее существенных входных параметров.

6.3.2. Построения адекватной и наглядной модели зависимости  $Y = F_i(X_i)$ ,  $i = 1, n$ , (1).

6.3.3. Субоптимизации изучаемой системы по модели (1) — выбора для каждого  $X_i$  поддиапазона значений, которому соответствует лучшее среднее значение выходного показателя.

Сопоставление полученных рекомендаций по субоптимальному управлению с существующим технологическим регламентом позволяет подать рационализаторское предложение по соответствующему изменению значений тех  $X_i$ , для которых поддиапазоны в регламенте и модели субоптимального управления не совпадают.

Имеется большой практический опыт эффективно решения использования МВОЗ для идентификации и субоптимизации технологических процессов в химии, металлургии, и других областях [18, 19, 21, 23, 24, 25].

6.4. Метод мозаичного портрета (ММП), с помощью которого решается задача редукции изучаемой системы к ее системным свойствам [26–29].

6.5. Метод логического программирования, с помощью которого осуществляется субоптимизация изучаемой системы по ее мозаичной модели [30–34].

6.6. Метод ситуационного программирования, позволяющий для каждой ситуации, образуемой соответствующими сочетаниями поддиапазонов значений неуправляемых входных параметров (например, показателей качества сырья), синтезировать соответствующее наиболее эффективное управление [35].

С помощью ИМИБС решаются следующие актуальные методологические задачи:

- основная задача искусственного интеллекта — получение новых, не известных ранее экспертам системных знаний из экспериментальных данных с помощью полностью формализованных процедур,

- основная задача кибернетики — построение адекватной математической модели «черного» ящика по экспериментальным данным при практически любом количестве входных параметров и выходных показателей,

- основная задача обучения распознаванию образов — формальный выбор множества наиболее информативных логических высказываний, специфичных для каждого из распознаваемых образов, за полиномиальное от размерности изучаемой системы время,

- задачи идентификации, диагноза состояния, прогноза поведения и оптимизации сложных систем любой физической природы.

---

## 7. Задачи, решенные с помощью ИМИБС

---

С помощью ИМИБС были практически решены следующие задачи:

7.1. Проведена идентификация и оптимизация технологических режимов более чем 50 действующих производств в химической, металлургической и других отраслях промышленности.

7.1.1. Например, На Березниковском химическом заводе в результате оптимизации технологического процесса получения сульфаминовой кислоты достигнуто существенное повышение эффективности работы по сравнению с регламентом:

- выход продукта увеличился с 83,06 % до 90 % (на 8,3 % отн.);
- массовая доля основного вещества возросла с 83 % до 95,62 % (на 15,2 % отн.);
- содержание серной кислоты в продукте сократилось с 6 % до 2,58 % (в 2,3 раза);
- удельная мощность производства увеличилась с 378,8 до 413,8 кг/час (на 9,2 % отн.) [36].

По результатам этой работы получено Авторское свидетельство [37].

7.1.2. На Днепропетровском металлургическом заводе им. Петровского с помощью метода компромиссной оптимизации оптимизирован режим доменной плавки одновременно по удельному расходу кокса и производительности. В результате производительность печи возросла на 12,6 % отн., а расход кокса на тонну чугуна сократился на 7,6 % отн. [19].

7.2. Решена задача построения математической модели зависимости потребительских свойств химических соединений определенного класса от их химического строения [38–44].



С помощью этой модели эффективно решаются задачи:

- предсказания потребительских свойств новых, еще не синтезированных соединений по их химическим формулам;
- формального синтеза химических формул новых соединений изучаемого класса, потенциально обладающих заданным комплексом потребительских свойств.

Например, по 273 дисперсным моноазокрасителям с экспериментально определенными значениями выходных по показателей (устойчивости к свету, сублимации, выбираемости при 1 % выкраске) была построена модель зависимости оценки комплексного критерия от химического строения красителей [40]. Комплексный критерий считался хорошим, если устойчивость к свету была 6 баллов и более, устойчивость к сублимации — 3 балла и более, выбираемость при 1 % выкраске — 3 балла.

Если хотя бы один из этих критериев не соответствовал заданным ограничениям, комплексный критерий считался неудовлетворительным.

При построении модели каждому заместителю в определенном положении был присвоен соответствующий порядковый номер (код), что позволило описывать строение каждого красителя в виде соответствующей строки таблицы экспериментального материала.

Полученная модель состояла из 2-х подмножеств сочетаний элементов структуры красителя (в одно попали сочетания, встречавшиеся в исходном материале только у красителей, удовлетворяющим заданным требованиям по всем выходным показателям, а в другое — только те сочетания, которые встречались в красителях, не удовлетворяющих хотя бы одному из этих требований).

С помощью этой модели были получены оценки выходных показателей по заданным специалистами формулам 73 новых, еще не синтезированных красителей. Только для 10 формул было предсказано приемлемое качество соответствующих им красителей.

После прогноза был осуществлен синтез всех 73 красителей и экспериментальная проверка их свойств. Оказалось, что 9 из 10 «хороших» по прогнозу красителей полностью соответствовали заданным требованиям, а 1 по показателям устойчивости к свету и сублимации был на 0,5 балла хуже. (Впрочем, точность оценки этих показателей по ГОСТу 97-33-61 как раз и составляет 0,5 балла).

Затем по этой же модели был осуществлен синтез химических формул новых красителей, потенциально обладающих комплексом заданных свойств.

После химического синтеза и колористических испытаний оказалось, что качество 14 из них (87,5 %) полностью соответствуют заданным ограничениям (устойчивость к свету  $\geq 6$  баллов, к сублимации  $\geq 3$  баллам, выбираемость при 1 % выкраске — соответствующая. У 2-х красителей оценка по выбираемости была на 0,5 бала ниже заданной, что не превышает погрешности определения этого показателя по ГОСТу 97-33-61

7.3. В области медицины разработаны методы дифференциальной диагностики и прогноза осложнений болезни:

- метод прогноза осложнений инфаркта миокарда по клинической картине 1-го дня инфаркта миокарда [45–47],
- язвенная болезнь желудка — раковая болезнь желудка [48],

- дифференциальная диагностика гипертонической болезни и почечных гипертензий [49], и др.

Например, в Московской клинической больнице № 23 в январе 1981 года был внедрен метода прогноза последствий инфаркта миокарда. Это позволило сократить летальность по сравнению с 1980 г. от крупноочагового инфаркта на 36,8 %, а от мелкоочагового — на 45,1 %.

---

## 8. ИМИБС — методологическая основа корректного решения задач кибернетики и системного анализа

---

ИМИБС позволяет с помощью полностью формализованных процедур эффективно решать все проблемы, которые возникают при использовании известных методов математического моделирования сложных систем:

- корректной постановки задачи в любой предметной области;
- выбора перечня существенных для решаемой задачи входных параметров;
- исключения процедур структурной и параметрической идентификации;
- свертки множества выходных показателей в обобщенный критерий оценки эффективности изучаемой системы;
- построения адекватной изучаемой системе математической модели;
- с помощью полученной модели решать задачи диагностики состояния, прогноза поведения и оптимизации изучаемых систем любой физической природы.

Поскольку методологической основой кибернетики и системного анализа являются известные методы математического моделирования, с помощью которых задачи построения математических моделей сложных систем практически неразрешимы, ИМИБС является методологической основой кибернетики и системного анализа.

---

## 9. ИМИБС — методологическая основа корректного решения задач искусственного интеллекта

---

Поскольку основной задачей искусственного интеллекта является получение новых, неизвестных ранее экспертам знаний из экспериментальных данных с помощью полностью формализованных процедур, следует отметить, что эта задача пока не решена.

«На вопрос о существовании искусственного интеллекта следует дать отрицательный ответ: любая программа жестко приспособлена для данной конкретной задачи, алгоритм, вводимый в машину, не несет в себе семантики совершаемой работы» [50].

«Основные усилия в области искусственного интеллекта приходится на поиск универсальных методов решения: ученые старались найти общие принципы, которые можно было бы применять, отвлекаясь от специфики каждой предметной области» [51].

Программа, реализующая ИМИБС, универсальна и позволяет работать с таблицей экспериментальных данных, полученных при наблюдении за функционированием сложных систем в любой предметной области.

Получаемые при этом зависимости выходного показателя (заданного комплекса выходных показателей) от различных сочетаний поддиапазонов значений входных параметров однозначно интерпретируются на языке соот-

ветствующей предметной области и представляют собой новые неизвестные ранее знания об изучаемой системе.

### 10. Практическое использование ИМИБС в образовании

В настоящее время методологическая основа методической грамотности — интеллектуальная методология изучения больших систем читается:

1. В Рубежанском химико-технологическом институте в рамках дисциплин:
  - математические методы моделирования и оптимизации;
  - математические методы в научных исследованиях;
  - теория систем и математическое моделирование.
2. В Северодонецком технологическом институте в рамках дисциплин:
  - методология и организация научных исследований;
  - моделирование сложных систем.

### 11. Выводы (ИМИБС — методологическая основа 4 составляющей парадигмы образования)

Введение в учебные программы нового курса ИМИБС позволит выпускникам вузов ставить и эффективно решать с помощью полностью формализованных процедур задачи математического моделирования сложных систем любой физической природы и с помощью этих моделей решать актуальные задачи диагностики состояния, прогнозирования поведения и оптимизации изучаемых систем.

С появлением ИМИБС новая парадигма оценки квалификации специалиста должна покоиться уже на 4-х китах:

- профессиональных знаний и умениях в соответствующей предметной области;
- компьютерной грамотности;
- знании английского языка.
- методической грамотности — умении применять интеллектуальную методологию изучения «больших» систем для математического моделирования, прогноза поведения, диагностики состояния и оптимизации реальных процессов (объектов, явлений) в любой предметной области.

### Литература

1. Бравый К. Л. Интеллектуальная революция 21 века в системе высшего образования [Текст] / К. Л. Бравый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 5/2 (41). — С. 41–45.
2. Спицнадель В. Н. Основы системного анализа [Текст] / В. Н. Спицнадель. — Санкт-Петербург: Бизнес пресса, 2000. — 326 с.
3. Расстригин Л. А. Введение в идентификацию объектов управления [Текст] / Л. А. Расстригин, Н. Е. Маджаров. — М.: Энергия, 1977. — 216 с.
4. Дородницын А. А. Проблема математического моделирования в описательных науках [Текст] / А. А. Дородницын // Кибернетика. — 1983. — № 4. — С. 6–10.
5. Косолап А. И. Математическое моделирование и оптимизация сложных детерминированных систем [Текст] / А. И. Косолап — Днепропетровск: Изд. Днепропетровского университета, 1999. — 168 с.
6. Орлов А. И. Методы поиска наиболее информативного множества признаков в регрессионном анализе [Текст] / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1995. — № 1. — С. 56–58.
7. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н. Н. Моисеев. — М.: Наука, 1981. — 488 с.
8. Расстригин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами [Текст] / Л. А. Расстригин. — М.: Советское Радио, 1980. — 232 с.
9. Моисеев П. П. Математические задачи системного анализа [Текст] / П. П. Моисеев. — М.: Наука, 1981. — 488 с.
10. Ахназарова С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — М.: Высш. шк., 1985. — 327 с.
11. Современные методы идентификации систем [Текст] / под ред. П. Эйкхоффа. — М.: Мир, 1983. — 400 с.
12. Эйкхофф П. Оценка параметров и структурная идентификация. (Обзор) [Текст] / П. Эйкхофф // Автоматика. — 1987. — № 6. — С. 21–38.
13. Демиденко Е. З. Вычислительные вопросы нелинейной регрессии [Текст] / Е. З. Демиденко // Заводская лаборатория. — 1986. — № 3. — С. 51–54.
14. Горский В. Г. Симметрия по параметрам — причина априорной неидентифицируемости нелинейных моделей [Текст] / В. Г. Горский // Заводская лаборатория. — 1987. — № 5. — С. 50–54.
15. Закгейм Ю. А. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Текст] / Ю. А. Закгейм. — М.: Химия, 1982. — 288 с.
16. Давиденко А. М. Экспериментальная проверка эффективности метода восстановления одномерных зависимостей для решения многокритериальных задач с помощью имитационного моделирования [Текст] / А. М. Давиденко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2007. — № 3/1. — С. 9–14.
17. Давиденко А. М. Разработка и экспериментальная проверка эффективности нового метода свертки частных показателей оценки эффективности работы технологических процессов в обобщенный критерий, измеряемый в континуальных шкалах [Текст] / А. М. Давиденко, М. Д. Кац // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2007. — № 5. — С. 50–54.
18. Кац М. Д. Метод компромиссной субоптимизации — методологическая основа повышения эффективности технологических процессов одновременно по энергетическим, экономическим, экологическим и другим показателям [Текст] / М. Д. Кац, А. М. Давиденко // Экология и промышленность. — 2008. — № 4. — С. 61–67.
19. Грачев Ю. М. Новый подход к решению задачи повышения эффективности доменной плавки одновременно по удельному расходу кокса и производительности [Текст] / Ю. М. Грачев, М. Д. Кац, А. М. Давиденко // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2008. — № 5. — С. 142–145.

20. Новакова А. В. Метод компромиссной субоптимизации для решения многокритериальных задач [Текст] / А. В. Новакова, А. М. Давиденко, М. Д. Кац // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 5/4 (41). — С. 39–43.
21. Давиденко А. М. Новые методы изучения действующих производств и их возможности [Текст] / А. М. Давиденко, М. Д. Кац // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2004. — № 6(12). — С. 189–193.
22. Биленко Д. А. Доказательство корректности метода восстановления одномерных зависимостей для изучения и совершенствования действующих производств с помощью имитационного моделирования [Текст] / Д. А. Биленко, А. М. Давиденко, А. В. Лютой, М. Д. Кац // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. — 2007. — № 5(111), часть 2. — С. 18–24.
23. Кац М. Д. Технологические основы оптимального управления действующими процессами [Текст] / М. Д. Кац, В. И. Тошинский, А. М. Давиденко // Вестник Национального Технического Университета (ХПИ). — 2004. — № 13. — С. 115–118.
24. Кац М. Д. Проблемы существенного повышения эффективности работы действующих производств и пути их решения [Текст] / М. Д. Кац, В. И. Тошинский, А. М. Давиденко // Сборник трудов 17 международной научно-практической конференции «Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровья человека, утилизация отходов. Т. 1. — Харьков, 2009. — С. 330–344.
25. Кац М. Д. Математическое моделирование и оптимизация технологического режима доменной плавки по информации, фиксируемой в режиме нормальной эксплуатации [Текст] / М. Д. Кац, А. М. Давиденко. // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2007. — № 3. — С. 15–17.
26. Кац М. Д. Новый метод математического моделирования химико-технологических процессов [Текст] / М. Д. Кац, В. В. Резниченко // Автоматизация химических производств. — 1975. — № 2. — С. 14–20.
27. Кац М. Д. О построении логической модели действующего химико-технологического процесса [Текст] / М. Д. Кац, В. В. Резниченко // Заводская лаборатория. — 1975. — № 7. — С. 857–858.
28. Кац М. Д. Новый метод моделирования химико-технологических процессов по экспериментальной информации [Текст] / М. Д. Кац. // Автоматизация химических производств. — 1982. — № 2. — С. 13–19.
29. Атаманчук Л. И. Об одном методе идентификации и оптимизации действующих производств [Текст] / Л. И. Атаманчук, А. М. Давиденко, М. Д. Кац // Вопросы химии и химической технологии. — 2005. — № 1. — С. 204–206.
30. Кац М. Д. Метод оптимизации химико-технологических процессов по информации, получаемой в режиме нормальной эксплуатации [Текст] / М. Д. Кац // Автоматизация химических производств. — 1980. — № 2. — С. 5–8.
31. Кац М. Д. Субоптимизация действующих химико-технологических процессов формально-логическими методами [Текст] / М. Д. Кац // Химическая промышленность. — 1988. — № 10. — С. 55–57.
32. Кац М. Д. Использование методов идентификации и субоптимизации для повышения эффективности действующих металлургических производств [Текст] / М. Д. Кац, А. М. Давиденко // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 1999. — № 2–3. — С. 86–88.
33. Kats M. Problems of production process optimization [Текст] / M. Kats, V. Kestelman, A. Davidenko // Scientific Israel — Technological advantages. — 2002. — № 3,4 «Civil & materials engineering». — vol. 4. — P. 60–65.
34. Кац М. Д. Проблемы повышения эффективности действующих производств и пути их решения [Текст] / М. Д. Кац, Д. В. Сталинский, С. П. Диденко, К. М. Давиденко // Сборник научных статей 11 Международной научно-технической конференции «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». — 2003. — Т. 1. — С. 55–60.
35. Кац М. Д. О построении ситуационной модели и ситуационном управлении химико-технологическими процессами [Текст] / М. Д. Кац // Автоматизация химических производств. — 1980. — № 5. — С. 15–17.
36. Кац М. Д. Выведение на рабочий режим и субоптимизация процесса получения сульфаминовой кислоты [Текст] / М. Д. Кац, Н. И. Савостьянов. // Химическая промышленность. — 1985. — № 10. — С. 53–54.
37. Кац М. Д., Савостьянов Н. И., Савостьянова Н. Г. и др. Способ получения сульфаминовой кислоты. Авторское свидетельство СССР № 1060565 от 17.02.1983.
38. Кац М. Д. Построение эмпирических зависимостей свойств органических соединений от их строения [Текст] / М. Д. Кац, Г. Е. Кричевский // Технология текстильной промышленности. — 1979. — № 4. — С. 258–260.
39. Кац М. Д. Математическая модель зависимости светостойкости дисперсных моноазокрасителей от их строения [Текст] / М. Д. Кац, Г. Е. Кричевский // Технология текстильной промышленности. — 1979. — № 5. — С. 60–63.
40. Кац М. Д. Зависимость между строением дисперсных моноазокрасителей и их потребительскими свойствами на лавсане [Текст] / М. Д. Кац, Э. И. Мостославская // Журнал прикладной химии. — 1983. — № 9. — С. 2135–2141.
41. Кац М. Д. Построение зависимости между строением азосоединений бензольного ряда и их устойчивостью к фотодеструкции на полиэфирном волокне [Текст] / М. Д. Кац, Г. Е. Кричевский // Журнал прикладной химии. — 1984. — № 1. — С. 144–149.
42. Кац М. Д. Метод построения эмпирических зависимостей между строением и реакционной способностью органических соединений определенного класса [Текст] / М. Д. Кац // Журнал прикладной химии. — 1984. — № 1. — С. 180–182.
43. Лысун В. М. Направленный синтез красителей с заданными светозащитными свойствами по отношению к полиамидным волокнам [Текст] / В. М. Лысун, М. Д. Кац, Г. Е. Кричевский // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. — 1984. — Т. 27. — № 6. — С. 700–703.
44. Кац М. Д. Изучение зависимости между строением дисперсных моноазокрасителей и их светозащитными свойствами на полиамидном волокне [Текст] / М. Д. Кац, Н. В. Лысун, Э. И. Мостославская, Г. Е. Кричевский

- // Журнал прикладной химии. — 1988. — № 5. — С. 1196–1199.
45. Яковлев Г. М. Метод мозаичного портрета в прогнозировании осложненных инфаркта миокарда [Текст] / Г. М. Яковлев, В. Н. Ардашев, М. Д. Кац и др. // Кардиология. — 1981. — № 6. — С. 40–44.
46. Ардашев В. Н. Прогноз исходов и осложнений острого инфаркта миокарда. Актуальные вопросы кардиологии и гастроэнтерологии [Текст] / В. Н. Ардашев, Г. М. Яковлев, М. Д. Кац и др. // Труды Военно-медицинской академии. — Ленинград, 1982. — Т. 210. — С. 67–76.
47. Лисовский В. А. Прогноз исходов и осложнений острого инфаркта миокарда [Текст] / В. А. Лисовский, Г. М. Яковлев, М. Д. Кац и др. — Москва: Воениздат, 1987. — С. 126.

48. Щедрунов В. В. Дифференциальная диагностика язвы и рака желудка с применением методов прикладной математики [Текст] / В. В. Щедрунов, М. Д. Кац, Б. Н. Суханов // Советская медицина. — 1987. — № 8. — С. 50–54.
49. Зайцев В. С. Значение конъюнктивальной биомикроскопии для дифференциальной диагностики гипертонической болезни и почечных гипертензий [Текст] / В. С. Зайцев, М. Д. Кац, Т. М. Галкина // Материалы 6-й научной конференции молодых ученых ВМА им. С. М. Кирова. — Ленинград, 1980. — С. 59–60.
50. Васильев И. В. Искусственный интеллект. Проблема обучения распознаванию образов [Текст] / И. В. Васильев, А. И. Шевченко. — Донецк: Дон. ГИИИ, 2000. — 360 с.
51. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта [Текст] / Н. Нильсон. — М.: Радио и связь, 1985. — 376 с.

УДК 004.94:004.032.26

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК СРЕДСТВО МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО ДОПУСКА

**Д. Г. Зеленцов**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*  
E-mail: dmyt\_zel@mail.ru

**Л. И. Короткая**

Ассистент\*  
E-mail: korliv@hotmail.com

\*Кафедра компьютерных технологий  
и высшей математики  
Украинский государственный  
химико-технологический университет  
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005  
Контактный тел.: (0562) 47-24-64

*Запропоновано новий підхід до розв'язання задач оптимізації кородуючих конструкцій, заснований на адаптації методу ковзного допуску. У якості критерію ковзного допуску приймається гранично допустима похибка обчислення функцій обмежень, яка забезпечується навченою нейронною мережею.*

*Ключові слова: метод ковзного допуску, нейронна мережа.*

*Предложен новый подход к решению задач оптимизации корродирующих конструкций, основанный на адаптации метода скользящего допуска. В качестве критерия скользящего допуска принимается предельно допустимая погрешность вычисления функций ограничений, которая обеспечивается обученной нейронной сетью.*

*Ключевые слова: метод скользящего допуска, нейронная сеть.*

*A new approach to solving optimization problems corrodng structures based on the adaptation of the method of rolling admission. As a criterion for moving the tolerance shall be the maximum permissible error of calculation functions of restrictions, which provides trained neural network.*

*Keywords: the sliding method of admission, neural networks.*

## 1. Введение

При моделировании поведения сложных объектов и их оптимального проектирования могут быть использованы различные методы нелинейного программирования (НЛП).

Оптимизация возможна при помощи многих стратегий, начиная с весьма сложных аналитических и численных математических процедур и кончая разумным применением элементарной математики. Существует множество эффективных алгоритмов нелинейного программирования, которые отличаются друг от друга раз-

личными критериями: надежности; скорости решения; времени подготовки задачи для решения; точностью решения и пр.

К указанным сложным объектам и нелинейным системам относятся и металлические конструкции, которые эксплуатируются в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Моделирование поведения этих систем трудно поддается математической или количественной формализации, а известные традиционные подходы (детерминированный и вероятностный) позволяют решать указанные задачи в ущерб физике процесса.