

Міністерство освіти та науки України
Криворізький державний педагогічний університет

Комп'ютерне моделювання
та інформаційні технології
в природничих науках

Збірник наукових праць

Кривий Ріг
Видавничий відділ КДПУ
2000

ББК 32.973.3

К 63

УДК 681.3.001.57+37.01:007

Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в природничих науках: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2000. – 464 с.

Збірник містить статті з різних аспектів застосування моделювання у природничих науках та освітній діяльності, нових технологій навчання фізики, математики та інформатики. Значну увагу приділено інформаційним технологіям в управлінській діяльності.

Для студентів вищих навчальних закладів, аспірантів, наукових та педагогічних працівників.

Редакційна колегія:

В.М. Соловійов, доктор фізико-математичних наук
Є.Я. Глушко, доктор фізико-математичних наук
О.І. Олейніков, доктор фізико-математичних наук
В.І. Хорольський, доктор технічних наук, професор
О.А. Учитель, доктор технічних наук, професор
В.І. Шанда, кандидат біологічних наук, професор
І.О. Теплицький, відповідальний редактор
С.О. Семеріков, відповідальний секретар

Рецензенти:

В.М. Назаренко – д-р техн. наук, проф., зав. кафедри інформатики, автоматки та систем управління Криворізького технічного університету, академік Міжнародної Академії комп'ютерних наук і систем
А.Ю. Ків – д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики Південноукраїнського державного педагогічного університету (м. Одеса)

Затверджено Вченою Радою Криворізького державного педагогічного університету (протокол №8 від 18.04.2000 р.)

ISBN 966-7048-05-7

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СИМПЛЕКС–ПОИСК В ЗАДАЧАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

А.П. Полищук, С.А. Семериков
г. Кривой Рог, Криворожский государственный педагогический
университет

Идентификация модели динамического объекта – неотъемлемая часть решения общей задачи управления процессом, реализуемым в объекте под действием внешних управляющих или возмущающих воздействий.

Рассматривается следующая *типовая задача оценивания параметров математической модели динамических объектов*:

- структура модели определена по априорным сведениям об объекте (чаще всего на основе результатов анализа балансов – сил или моментов в механических системах, токов и напряжений в электрических цепях, денежных потоков в финансовых системах и пр.) в виде линейных или нелинейных дифференциальных уравнений с известным порядком и неизвестными коэффициентами;
- заданы дискретные числовые последовательности, представляющие собой результаты измерения входного и выходного сигналов объекта в равноотстоящие моменты времени;
- результаты измерения значений процесса на выходе могут быть искажены погрешностями различного происхождения;
- требуется определить такие численные оценки параметров модели, при которых модель при том же входном воздействии, которое было приложено к реальному объекту, генерирует процесс, максимально совпадающий с выходом реального объекта.

Первая трудность, которую необходимо преодолеть еще на постановочной стадии, состоит в определении понятия наилучшего совпадения процессов на выходах модели и реального объекта.

Для процессов, у которых оператор преобразования входной функции времени в выходную представлен линейными дифференциальными уравнениями и результаты измерения выхода слабо искажены, эта трудность отпадает – выходная функция

представляет собой линейную комбинацию экспонент с комплексными показателями и задача может быть сведена к процедуре *экспоненциальной аппроксимации* и определению показателей степеней экспонент и соответствующих им коэффициентов. Идея метода кратко изложена в [1] и состоит для равноотстоящих данных в следующем. Выходная функция объекта представляется в виде

$$f(t) = \sum_{i=0}^k A_i e^{p_i t}$$

для множества равноотстоящих значений $t=1, 2, 3, \dots, n$. Здесь k – заданный порядок дифуравнения. Если все члены $e^{p_i t}$ ($i=1, 2, \dots, k-1$) удовлетворяют некоторому разностному уравнению k -го порядка с постоянными коэффициентами, то его характеристические корни равны $\rho = e^{p_i}$ и $f(t)$ также удовлетворяет такому уравнению вида

$$f(j) + \sum_{i=1}^k c_i f(j+i) = 0 \quad (j=0, 1, 2, \dots)$$

Если уравнений столько же, сколько неизвестных c_m и определитель $|f(j+n)|$ не равен нулю, то уравнения решаются для c_j и из корней характеристического уравнения

$$\rho^k + c_1 \rho^{k-1} + \dots + c_k = 0$$

находят p_i . При наличии более $2k$ узлов используют метод наименьших квадратов, получая нормальные уравнения и находя по очереди p_i и A_i . Собственно задача идентификации практически решена после нахождения p_i , определяющих как коэффициенты характеристического полинома, так и коэффициенты дифуравнения.

Нами разработан комплекс С++ – программ, включающий определение параметризованных классов векторов, матриц, полиномов и параметризованных функций работы с объектами этих классов (включая вычисление комплексных корней полиномов), а также программы для решения линейных дифуравнений операторным методом, основанным на интегральном преобразовании Лапласа, и программы для реализации метода экспоненциальной аппроксимации для определения параметров обыкновенных линейных дифуравнений [2, 3]. Программный комплекс включает также функции графического представления

функций, позволяющий сравнивать объектный и модельные процессы на разных фазах идентификации различными методами. Исследования показали удовлетворительную работоспособность метода при уровнях равномерно распределенных шумов до 1-го процента от модуля вектора незашумленного выхода объекта, вычисленного по всем измерениям (в опытах использовалось 100 измерений). При дальнейшем увеличении уровня шумов погрешности аппроксимации быстро растут и результаты идентификации становятся неприемлемыми для практического использования.

Широко используется на практике для линейных систем также *метод моментов* i -го порядка (площадей) [4] функции $f(t)$ – реакции объекта на некоторое стандартное возмущение (например, импульс или ступенька):

$$M_i = \frac{(-1)^i}{i!} \int_0^{\infty} t^i f(t) dt$$

При использовании метода стремятся получить модель объекта в виде передаточной функции в дробно-рациональной форме вида

$$W(p) = \frac{\sum_{i=1}^m b_i p^i + 1}{\sum_{i=1}^n a_i p^i + 1},$$

для чего в Лапласовом преобразовании функции $f(t)$ множитель e^{-pt} разлагают в ряд Тейлора и получают выражение изображения функции через моменты вида

$$L(f(t)) = \sum_{i=0}^{\infty} M_i p^i.$$

Далее представляют изображение реакции модели через передаточную функцию и приравнивают коэффициенты при одинаковых степенях переменной p для получения уравнений, связывающих неизвестные коэффициенты a_i, b_i с моментами M_i .

Исследования показали более высокую устойчивость метода моментов к уровню зашумленности экспериментальных данных – для объектов 2-го порядка удовлетворительные результаты получены при уровнях погрешностей измерения до 4% за счет

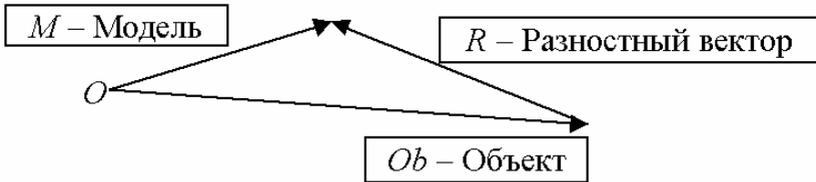
сглаживающего влияния процедуры интегрирования. Но при этом возникает ряд трудно формализуемых процедур, связанных с выбором оптимальных шага дискретизации измерений и замены бесконечного верхнего предела интегрирования конечным. Оба параметра сильно влияют на получаемый результат, равно как и используемый метод численного интегрирования. Кроме того, при порядке дифуравнения выше 2-го точность вычисления моментов (а их необходимо $m+n$) быстро падает – влияние помех при больших t увеличивается с ростом номера момента, а работа в малых временных интервалах обрезает количество экспериментальной информации для идентификации.

В связи с изложенными недостатками методы, использующие в процедурах оценивания явные математические выражения, в последние годы все чаще заменяются поисковыми методами оценивания с настраиваемой моделью, и здесь уже без четкого определения косвенного критерия качества идентификации не обойтись – приходится решать задачу поиска экстремума некоторого функционала от выходных функций объекта и модели и результаты зависят от принятого критерия. Основное требование к критерию оценки близости выходных функций объекта и модели сводится к тому, что он должен быть унимодальной функцией оцениваемых параметров модели, то есть описываемая им гиперповерхность в пространстве коэффициентов искомого дифуравнения должна иметь единственный минимум или максимум. Это требование связано с тем, что методы поиска глобальных экстремумов функций многих переменных пока слабо разработаны. При соблюдении этого требования алгоритм идентификации сводится к организации движения по гиперповерхности в сторону минимума – чаще всего используется метод градиента или случайного поиска. Оба метода обладают существенными недостатками – слишком большое количество пробных шагов при случайном поиске и трудность получения приемлемой точности вычисления частных производных в методе градиента.

В качестве критерия оценки близости выходных процессов объекта и модели обычно используют квадратичный критерий вида

$$Q = \sqrt{\sum_{i=0}^n (f_{ob}(i) - f_{mod}(i))^2} \rightarrow \text{extremum}$$

Он приводит к известному Гауссовому методу наименьших квадратов. При геометрической интерпретации этого критерия можно рассмотреть два вектора размерности n (количество измерений), составляющими которых являются значения выходных функций объекта и модели в соответствующие моменты времени:



Из рисунка видно, что по квадратичному критерию минимизируется квадрат модуля разностного вектора R – третья сторона треугольника, построенного на модулях векторов объекта и модели.

$$M_{ob}^2 + M_{mod}^2 - 2M_{ob}M_{mod} = M_R^2$$

Этот минимум равен нулю и достигается при равенстве модулей исходных векторов и совпадении их направлений.

В поисковых процедурах требование совпадения модулей векторов является уже избыточным – достаточно добиться совпадения направлений векторов модели и объекта, а необходимое масштабирование всех найденных параметров модели легко выполняется делением на один из них. При этом в качестве критерия близости функций выхода для модели и объекта можно использовать либо достижение минимума угла между векторами (он равен нулю в идеальном случае), либо максимум косинуса этого угла (не более 1). Для вычисления последнего достаточно отнормировать объектный и модельный векторы каждый по своему модулю и вычислить их скалярное произведение как сумму произведений составляющих. Этот критерий близости и используется в настоящей работе.

О методе поиска.

В 1962 году Спиндлеем, Херстом и Химсуорсом был предложен *метод последовательного симплексного поиска* (метод ПСМ) в многомерном пространстве [5]. Оригинальность метода состоит в том, что движение к оптимуму в многомерном пространстве независимых переменных осуществляется последова-

тельным отражением вершин симплекса. В k -мерном евклидовом пространстве *симплексом* называют фигуру, образованную $k+1$ точками (вершинами), не принадлежащими одновременно ни одному пространству меньшей размерности. В одномерном пространстве симплекс есть отрезок прямой, в двумерном – треугольник, в трехмерном – тетраэдр и т. д. Симплекс называется регулярным, если расстояния между его вершинами равны. В ПСМ используются регулярные симплексы.

Из любого симплекса, отбросив одну его вершину, можно получить новый симплекс, если к оставшимся вершинам добавить всего одну точку. Это замечательное свойство и было использовано авторами метода при построении алгоритма движения симплекса в сторону искомой цели.

Для оценки направления движения во всех вершинах симплекса необходимо определить значения целевой функции Q_j . При поиске максимума наиболее целесообразным будет движение от вершины v_s с наименьшим значением Q_s к противоположной грани симплекса. Шаг поиска выполняется переходом из некоторого симплекса S_{n-1} в новый симплекс S_n путем исключения вершины v_s и построения ее зеркального отображения v_{ns} относительно грани, общей обоим симплексам. Многократное отражение худших вершин приводит к шаговому движению центра симплекса к цели по траектории некоторой ломаной линии. Если не учитывать эксперименты в вершинах исходного симплекса, то на каждый шаг поиска требуется всего одно определение целевой функции.

Исходные данные для построения алгоритма:

- количество независимых переменных k ;
- предельные значения каждой i -й независимой переменной $x_{i\min}$, $x_{i\max}$. Для реальных объектов исследования эти предельные значения определяются априорными сведениями, условиями безопасности при проведении экспериментов и т.д.;
- допустимая ошибка в определении координат оптимума ε ;
- предполагается также возможность определения значения целевой функции $Q(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{kj})$ для каждой j -й вершины симплекса.

Подготовительные операции:

1. Прежде всего необходимо определить стартовую точку для начала поисковых процедур; при отсутствии дополнительных априорных данных естественно расположить ее в центре области, ограниченной предельными значениями независимых переменных:

$$x_{1c}=(x_{1\max}-x_{1\min})/2, x_{2c}=(x_{2\max}-x_{2\min})/2, \dots, x_{kc}=(x_{k\max}-x_{k\min})/2.$$

Перенос в эту точку начала координат облегчит последующие вычислительные процедуры (достигается вычитанием).

2. Определяются координаты вершин начального симплекса. Из множества возможных ориентаций начального симплекса на практике используют два варианта:

а) Когда центр симплекса располагается в начале координатной системы, а одна из вершин – $(n+1)$ -я – на оси x_n . Остальные вершины при этом расположатся симметрично относительно координатных осей.

Координаты вершин вычисляются в этом варианте с помощью матрицы:

Номер вершины	Координаты вершин					
	x_1	x_2	x_3	...	x_{n-1}	x_n
1	$-r_1$	$-r_2$	$-r_3$...	$-r_{n-1}$	$-r_n$
2	R_1	$-r_2$	$-r_3$...	$-r_{n-1}$	$-r_n$
3	0	R_2	$-r_3$...	$-r_{n-1}$	$-r_n$
...
n	0	0	0	...	R_{n-1}	$-r_n$
$n+1$	0	0	0	...	0	R_n

где при единичной длине ребра симплекса $r_i = \frac{1}{\sqrt{2i(i+1)}}$,

$$R_i = \frac{1}{\sqrt{2(i+1)}}, i=1, 2, \dots, n.$$

б) Во втором варианте одна из вершин симплекса размещается в начале координат, а исходящие из нее ребра образуют одинаковые углы с соответствующими осями. Вспомогательная расчетная матрица для координат вершин начального симплекса имеет вид:

Номер вершины	Координаты вершин					
	x_1	x_2	x_3	...	x_{n-1}	x_n
1	0	0	0	...	0	0
2	p	q	q	...	q	q
3	q	p	q	...	q	q
4	q	q	p	...	q	q
...
$n+1$	q	q	q	...	q	p

где при единичной длине ребра $p=n-1+\frac{\sqrt{n+1}}{n\sqrt{2}}$, $q=\frac{\sqrt{n+1}-1}{n\sqrt{2}}$.

3. Получаем значения функции отклика в вершинах исходного симплекса и на этом завершаем подготовительные операции.

Алгоритм поиска.

В цикле с выходом по условию выполняем:

1. Отбрасываем вершину с наихудшим значением критерия оптимальности (наименьшим при поиске максимума или наибольшим при поиске минимума).

2. Вычисляем координаты вершины, зеркально отображаемой отброшенной относительно противоположной ей грани симплекса:

$$x_i = x_i(2(x_{1i} + x_{2i} + \dots + x_{j-1, i} + x_{j+1, i} + \dots + x_{n+1, i})/n - x_{ji}),$$

где j – номер отбрасываемой вершины, i – номер координаты.

3. Проводим эксперимент в новой точке для получения значения целевой функции.

Условием выхода из цикла может быть малое приращение целевой функции на протяжении заданного числа опытов или при сохранении одной из вершин своего присутствия в симплексе заданное число раз и т.п.

При приближении к области оптимума точность может быть повышена уменьшением размера симплекса, но при наличии погрешностей в определении значений целевой функции необходимо ограничить размер симплекса снизу, чтобы избежать блужданий под действием случайных шумов измерений.

Преимущества метода:

- число необходимых опытов для определения направления движения мало по сравнению с другими методами;

- легко учитываются ограничения на область изменения варьируемых при поиске факторов;
- эффективность метода растет с увеличением мерности пространства поиска и увеличение порядка моделируемого объекта не влечет за собой отрицательных последствий;
- малый объем вычислений на каждом шаге;
- отсутствие высоких требований к точности оценки значения целевой функции – достаточно возможности надежно проанжировать значения качественно по принципу «больше–меньше»;
- метод пригоден для преследования дрейфующей цели (максимума или минимума), что делает его применимым в адаптивных алгоритмах для объектов со сравнительно медленно меняющимися характеристиками;
- возможность изменять мерность пространства на ходу изменением количества вершин симплекса.

Недостатки метода:

- отсутствие данных о влиянии каждого фактора на целевую функцию;
- трудность интерпретации характера поверхности отклика по данным реализуемых в методе опытов.

Результаты испытаний метода.

Для испытаний метода была составлена программа реализации ПСМ, объединенная с ранее упомянутым программным комплексом для анализа динамических процессов. По сравнению с методами экспоненциальной аппроксимации и методом моментов использованный метод настройки модели оказался значительно более помехоустойчивым – уровень помех до 10% практически мало влияет на направление объектного вектора и для получения удовлетворительных результатов достаточно от 20 до 30 шагов поиска при удачно выбранном масштабе для ребра исходного симплекса. Выбор этого масштаба – отдельная задача, решение которой облегчается, если известны хотя бы приближенно диапазоны предстоящего поиска для каждого параметра модели. В противном случае на этапе построения исходного симплекса приходится искать компромисс между желаемой высокой скоростью поиска, достижимой точностью и хорошей чувствительностью критерия оценки к изменениям координат вер-

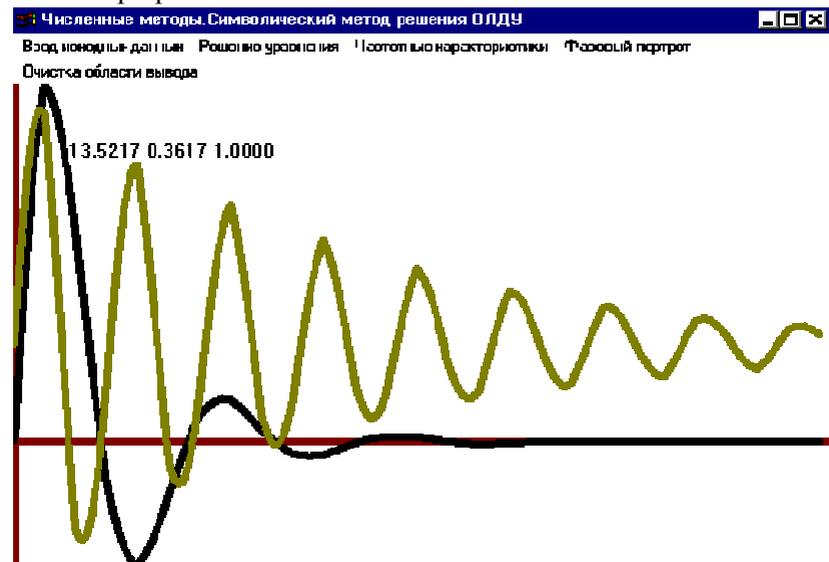
шин симплекса. Ниже приведены результаты испытаний метода при идентификации параметров динамического звена второго порядка

$$40 \frac{d^2 f(t)}{dt^2} + 4 \frac{df(t)}{dt} + 1,$$

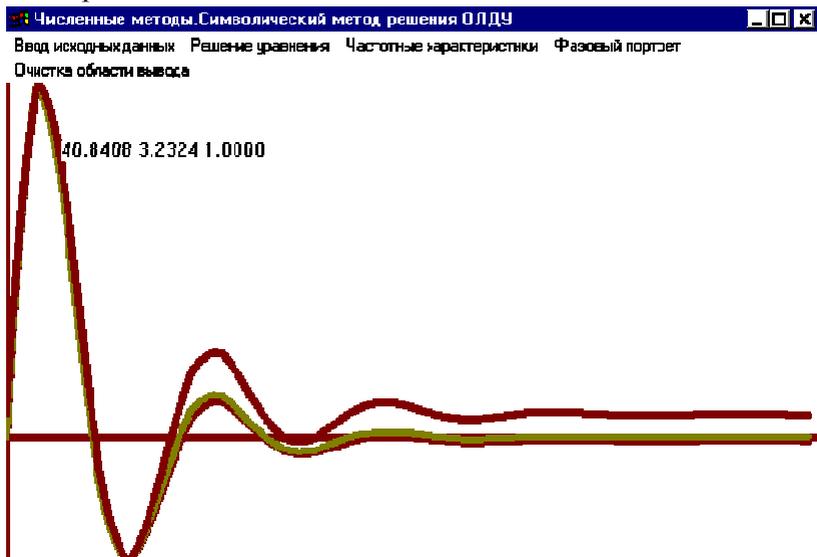
возмущенного импульсным воздействием на входе с наложением равномерно распределенного шума различного уровня, отчитанного в приведенных данных в % от модуля вектора незашумленного выхода объекта. Количество точек измерения – 100. Масштаб ребра исходного симплекса – 0.55.

Количество итераций (шагов поиска)	Уровень шума, %	Коэффициенты модели (расчетные)		
		A_2	A_1	A_0
10	5	41.01	4.36	1.0
25	12	39.83	3.11	1.0
100	13	39.95	4.2	1.0
300	15	40.00	4.076	1.0
600	16	39.95	4.23	1.0

На размещенных ниже рисунках приведены иллюстрации объектного и модельного процессов на разных фазах процесса поиска при различном количестве шагов поиска.



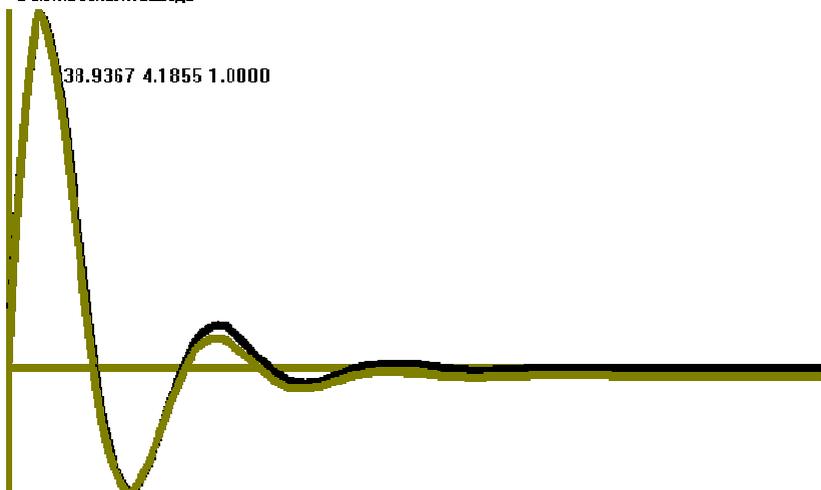
Дальнейшее совершенствование алгоритма в направлении повышения устойчивости к измерительным шумам и скорости сходимости к оптимуму может осуществляться традиционными методами – уменьшением шага дискретности в представлении объектного вектора, усреднения данных на скользящем интервале времени и другими методами повышения отношения сигнал/шум, использованием поиска с переменным (уменьшающимся по мере приближения к оптимуму) размером симплекса с контролем надежной различимости значений критерия в различных вершинах.



Литература:

1. Хемминг Р.В. Численные методы. – М.: Наука, 1972. – с. 342.
2. Полищук А.П., Семериков С.А. Методы вычислений в классах языка С++: Учебное пособие. – Кривой Рог: Издательский отдел КГПИ, 1999. – 350 с.
3. Полищук А.П., Семериков С.А. Автоматика: Учебное пособие. – Кривой Рог: Издательский отдел КГПИ, 1999. – 277 с.
4. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.Н. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. – М.: Энергия, 1967.
5. Дамбраускас А.П. Симплексный поиск. – М.: Энергия, 1979.

Ввод исходных данных Решение уравнения Частотные характеристики Фазовый портрет
Очистка области вывода



Зміст

<i>В.М. Соловійов.</i> Фізико-математичному факультету – 70 років	3
<i>Ю.В. Загородній, Ю.Б. Бродський.</i> Концепція інформаційної системології	8
<i>А.А. Мирошниченко.</i> Компьютерное моделирование как применение синергетических методов в естественных науках	13
<i>А.Е. Кив, В.Н. Соловьев, Т.И. Максимова.</i> Влияние излучений подпороговых энергий на реконструкцию поверхности Si (001)	16
<i>Н.В. Витюк.</i> Решение задачи «структура–активность» на основе принципа структурного подобия объектов	24
<i>Н.В. Витюк.</i> Нерепрессионные подходы к установлению связи «структура–активность (свойство)»	35
<i>В.Н. Евтеев.</i> Влияние случайного возмущения и разупорядоченности на спектр и волновые функции электрона в ограниченных полупроводниковых системах	49
<i>Е.В. Журавель.</i> Моделирование полупроводниковых сверхрешеток средствами АКИС	54
<i>М.В. Моисеенко.</i> Электронная структура, вольтамперные характеристики и заряджение линейных молекулярных цепочек, контактирующих с металлом	59
<i>С.Д. Светличная.</i> Моделирование нестационарных деформационных процессов в упругих многослойных телах, имеющих форму кольцевого цилиндрического сегмента	70
<i>Е.С. Акиншиева, Ю.В. Харламов, В.Д. Швец.</i> Полуэмпирический расчет π -системы аллильного радикала и молекулы бутадиена-1,3	74
<i>А.С. Фисенко, В.Д. Швец, В.Ю. Гладкий.</i> Применение метода вращения Якоби для определения собственных значений матрицы гамильтониана	78
<i>А.В. Фрузинский, В.Д. Швец.</i> Применение метода наименьших квадратов для исследования тонкой структуры спектров атомов щелочных металлов	85
<i>Р.В. Колодницька.</i> Комп'ютерне моделювання процесу пластичної деформації	89
<i>В.В. Корольський.</i> Синтез топологии математических моделей сетевых систем с непрерывным потокораспределением	94

<i>А.А. Архипенко, Е.Я. Глушко, А.Я. Глушко, К.В. Якубенко, Н.А. Слюсаренко.</i> Исследование прохождения тока в ультрадисперсной квазижидкой проводящей среде	99
<i>В.В. Войтенко.</i> Моделювання гео-інформаційної системи для розв'язку регіональних екологічних проблем, пов'язаних з радіоактивним забрудненням	106
<i>А.В. Льченко, В.Ф. Запольський.</i> Програмно-апаратний комплекс для дослідження перехідних процесів провідності етанол-бензинових сумішей	110
<i>Э.П. Левченко.</i> Моделирование процесса измельчения зерновых материалов в центробежно-ударной мельнице	120
<i>В.В. Тютюник, С.В. Говаленков, Г.В. Тарасова, С.А. Тюрин.</i> Первичный преобразователь системы компьютерного прогнозирования параметров газоздушных сред	122
<i>М.С. Жуков, Л.Л. Жукова, Д.Є. Бобилєв, В.А. Денисюк.</i> Цифровий адаптивний регулятор струму тиристорного електроприводу постійного струму	126
<i>А.П. Полищук, С.А. Семериков.</i> Последовательный симплекс-поиск в задачах параметрической идентификации	131
<i>А.А. Хараджян.</i> Использование объектно-ориентированного подхода для моделирования электромеханических систем	143
<i>А.А. Хараджян.</i> Использование объектно-ориентированного программирования для идентификации динамических систем	147
<i>В.А. Бичко, О.І. Головахіна.</i> Комп'ютерне моделювання поверхні реального об'єкта	151
<i>О.І. Собко.</i> Особливості використання персональної ЕОМ при проведенні лабораторного практикуму у вузі	153
<i>О.М. Ігнатова, А.О. Шишкова, І.В. Кашель.</i> Статистичне моделювання ризикових зон для екологічно, економічно та фінансово нестійких об'єктів господарювання	156
<i>Н.А. Леонова, В.Н. Соловєв.</i> Формирование научного мировоззрения средствами математического моделирования	159
<i>Ю.О. Ісайчева, С.М. Лисечко.</i> Інструментальне середовище для моделювання явищ геометричної оптики	166
<i>Л.Р. Калапуша, В.П. Муляр.</i> Вивчення будови та принципу дії циклотрона на основі комп'ютерної моделі	172
<i>О.С. Мартинюк, Л.Р. Калапуша.</i> Комп'ютерне моделювання в навчальному фізичному експерименті	176

<i>В.І. Торкатюк, О.А. Векленко, В.П. Бутнік, В.Т. Кулік, А.П. Денисенко.</i> Шриффт як основа інформаційних технологій в управлінській діяльності	180
<i>Д.А. Соболев.</i> Технологи ХХІ века на службе сельського хозяйства Украины	198
<i>О.Г. Тімінський.</i> Інформаційні технології для управління проектами трансферу	207
<i>Ю.М. Кравченко.</i> Компьютерные технологии в обучении практических психологов	212
<i>Т.Г. Білова.</i> Інтелектуальний пошук у корпоративних системах електронного документообігу	215
<i>Л.В. Кубарская.</i> Компьютер в управлении школой	217
<i>А.П. Полищук, С.А. Семериков, Н.В. Грищенко.</i> О выборе языка программирования для начального обучения	220
<i>В.Л. Малорян, С.В. Варбанец.</i> Компонентно-ориентированный подход к изучению курса программирования в высших учебных заведениях	237
<i>М.П. Білан.</i> Викладання інформатики в Криворізькому обласному ліцеї–інтернаті для сільської молоді	242
<i>М.Э. Егорова.</i> Познать, играя и творя!	245
<i>И.Д. Стасюков, О.М. Брадул.</i> Введение в архитектуру «клиент/сервер»	253
<i>Г.М. Приймак.</i> Об'єктно-орієнтований підхід до розробки програмного забезпечення	262
<i>А.А. Швабский.</i> Анализ перспектив использования трёхмерной компьютерной графики в учебном процессе	266
<i>М.С. Жуков, Р.О. Постоечко, М.М. Сілініна.</i> Дослідження алгоритмів впорядкування масивів даних	268
<i>Є.С. Панкратов.</i> Бібліотека чисельних методів Digit Pro 1.0	273
<i>М.П. Рывкин.</i> Электронный справочник “Улицами Кривого Рога 2000”	275
<i>В.А. Юрченко, С.А. Семериков.</i> Эффективное использование ресурсов компьютера для решения прикладных задач (факультативный курс)	278
<i>В.В. Корольский.</i> К методике определения уровня знаний школьников с применением компьютеров	283
<i>А.М. Стрюк.</i> Використання експертної системи для соціонічного аналізу та прогнозу	286

<i>А.Д. Большевцев, В.А. Добрыдень, Ю.А. Смолин, А.И. Федюшин.</i>	
Информационный критерий качества контроля	291
<i>В.Г. Шерстюк, А.П. Бень, А.А. Дидык.</i>	
Мультиmodalная логика для представления знаний в интеллектуальных обучающих системах	294
<i>В.В. Петров, Л.М. Солоха.</i>	
Застосування комп'ютерного тестування для навчання рішення нестандартних задач	300
<i>К.О. Мірошник, В.В. Ніколаєвська.</i>	
Комп'ютерне тестування рівня сформованості інтелекту старшокласників	303
<i>М.А. Бондаренко.</i>	
Система автоматизованого контролю знань та умінь TUTOR-WINDOWS	309
<i>Л.О. Ковальчук, В.Я. Янчак.</i>	
Створення навчально-контролюючих програм для вивчення органічної хімії та біохімії на мові ДІНА	311
<i>В.В. Міхеев, Г.М. Міхеева.</i>	
Багатофункціональна комп'ютерна система лінійного та циклічного тестування	318
<i>Е.А. Белоножко.</i>	
Формирование познавательной самостоятельности учащихся средствами новых информационных технологий	321
<i>О.В. Бич.</i>	
Методична система вивчення теорії многочленів з використанням нових інформаційних технологій навчання	326
<i>С.Г. Грищенко.</i>	
Застосування нових інформаційних технологій при вивченні функцій у шкільному курсі математики	330
<i>Д.М. Євстігнєєва.</i>	
Формування графічної культури учнів на уроках алгебри засобами НІТ	333
<i>М.С. Жуков, О.Г. Пугач, О.О. Постоеько.</i>	
Використання комп'ютерних технологій при вивченні математики в середній школі	336
<i>І.М. Поліщук.</i>	
Реалізація засобів наочності на уроках геометрії	341
<i>О.О. Устименко, О.П. Поручинська.</i>	
Використання нових інформаційних технологій при вивченні шкільного курсу математики	348
<i>О.В. Дейнеко.</i>	
Винахідницькі задачі в шкільному курсі фізики	353
<i>М.І. Задорожній.</i>	
Алгоритм розв'язування фізичних задач для комп'ютера та учнів	358

<i>Н.С. Осина, Т.П. Кузьмич.</i> Использование электронных таблиц для обработки экспериментальных данных в школьном курсе физики	365
<i>І.О. Теплицький.</i> Застосування електронних таблиць на уроках фізики	373
<i>Н.В. Грищенко.</i> Нові інформаційні технології на природничих факультетах	381
<i>С.В. Рева.</i> Роль информационных технологий в развитии естественных наук	385
<i>С.В. Рева, Ю.П. Рева.</i> Ефективність різних комп'ютерних методів сучасного навчання	389
<i>Л.В. Легка.</i> Використання інформаційних технологій для активізації навчання нарисній геометрії	394
<i>Е.А. Смолова, С.В. Сербина.</i> Формирование приемов умственной деятельности при изучении темы «Введение в информатику»	397
<i>Ю.В. Филатов.</i> Решение задач повышенной сложности по информатике: анализ условия	406
<i>Г.В. Шугайло.</i> Про деякі аспекти формування у студентів педагогічного вузу навичок професійного використання комп'ютерних технологій (на прикладі редактору растрових зображень Adobe Photoshop)	412
<i>Л.О. Лісіна, О.О. Тинок.</i> Використання міської загальноосвітньої комп'ютерної мережі у навчальному процесі середньої школи	416
<i>С.В. Можайский.</i> Возможности применения HTML в учебном процессе	421
<i>В.В. Осадчий.</i> Методология работы студентов с локальными сетями и использование виртуальных WWW-серверов в учебном процессе	423
<i>С.В. Пустовіт, Т.В. Сахно, Г.Ф. Джурка.</i> Ефективний пошук хімічної інформації в Internet	426
<i>А.А. Тарасенко.</i> Компьютерная обработка числовых характеристик природных процессов	428
<i>Л.Л. Жукова, М.С. Жуков, О.В. Федоренко.</i> До питання статистичної обробки даних у середовищі Excel 97	430
<i>Л.Л. Жукова, О.С. Зеленський, В.Б. Хоцкіна, Я.В. Лешко.</i> Групування даних у середовищі Excel 97	434

<i>В.Б. Хоцкіна, Є.А. Хоцкін, О.А. Антюхіна.</i> Використання фінансових функцій у вирішенні задач господарського обліку	440
<i>Є.О. Кривенко.</i> Деякі перспективи розвитку й впровадження комп'ютерних технологій навчання	444
<i>Т.И. Максимова, С.А. Томилин, Б.А. Поддубный.</i> Моделирование границ раздела Al–Be	447
<i>Е.В. Быч, С.А. Семериков.</i> Теоретико-числовое преобразование в вычислениях с произвольной точностью	451
<i>Е.А. Кривенко.</i> Компьютерные динамические модели в школьном курсе физики	455

Наукове видання

**Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології
в природничих науках**

Збірник наукових праць

Підп. до друку 03.04.2000
Бумага офсетна №1
Ум. друк. арк. 26,10

Формат 80x84 1/16.
Зам. №4-0302
Наклад 500 прим.

Видавничий відділ Криворізького державного педагогічного
університету
КДПУ, 50086, Кривий Ріг-86, пр. Гагаріна, 54

E-mail: vyd@kpi.dp.ua