

- пов, Е.А. Ахромкин и др. – Луганск: ВУ-ГУ, 1999. – 423 с.
3. Ладик С.Р. Напряжки зміни організаційних структур в умовах ринкових перетворень в Україні //Регіональна економіка. – 2003.- № 1. – С. 57-61.
4. Майдебура Е.М. Маркетинг услуг. – Київ: ВИРА-Р, 2001. – 569 с.
5. Мельник Л.В., Мельник Л. М., Структура регіональної економіки: сутність та напрямки трансформації /Регіональна економіка. – 2001. - № 4. – С. 40-46.
6. Статистичний щорічник Луганської області за 2001 рік. - Луганськ: Луганське обласне управління статистики, 2002. –

363 с.

7. Статистичний щорічник Луганської області за 2002 рік. - Луганськ: Луганське обласне управління статистики, 2003. – 571 с.
8. Статистичний щорічник України за 2001 рік. Київ: Техніка, 2002. - 643 с.
9. Янукович В.Ф. Шляхи вирішення проблем управління соціально-економічним розвитком регіонів //Регіональна економіка. – 2002.- № 4. С.- 309-312.

Статья поступила в редакцию 2.12.2003

**А. М ГИЗАТУЛИН, ДонНТУ**

### **ВЫБОР КРИТЕРИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТРЕНДОВ ЦЕНОВЫХ БИРЖЕВЫХ ГРАФИКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕЙ АВТОРЕГРЕССИИ.**

В настоящее время Украина выходит из затяжного экономического кризиса, делает попытки вступить в ряд международных торговых организаций, интегрироваться в мировое экономическое сообщество, участвует в международной торговле [1]. Поскольку международная торговля в основном осуществляется через специализированные биржи, то нашему государству нужны надежные инструменты для осуществления этой торговли. Они должны максимизировать торговые прибыли и снижать риски биржевой торговли.

Разработкой и исследованием инструментов для осуществления биржевой торговли занимается множество ученых и трейдеров во всем мире. В частности, изучением нелинейности характера развития биржевых рынков занимается известный американский трейдер доктор Билл Вильямс [2]. Однако он не учитывает тип нелинейности финансовых рынков и соответственно не использует апостериорную информацию для увеличения прибыльности торговых сигналов и снижения рисков от биржевой торговли.

Для учета типа нелинейности финансовых рынков, а также уменьшения эффекта смещения, происходящего при выделении

нелинейных трендов, и соответственно максимизации прибыли от биржевой торговли был предложен метод скользящей авторегрессии, адаптивной к типу уравнения выделяемого тренда [3, 4].

Существенным моментом при реализации этого оригинального метода является выбор на интервале скользящего усреднения из счетного множества известных уравнений одного уравнения, которое наиболее точно “подходит” к случайному образу отрезка реализации по заранее определенному критерию. Данная проблема представляет собой задачу распознавания случайных образов, где в качестве “случайного образа”, используется сумма отсчетов нелинейного тренда с априорно неизвестным законом его формирования и случайной компоненты ценового графика.

Целью данной статьи является совершенствование предложенного метода [3] за счет выбора наиболее эффективного критерия распознавания из приведенных ниже [5]:

- минимум остаточной дисперсии;
- минимум относительной средней погрешности аппроксимации;

© А. М. Гизатулин, 2003

- максимум коэффициента взаимной корреляции;
- максимум коэффициента детерминации;
- модифицированный F-тест;
- минимум коэффициентов автокорреляции остатков первого, второго и третьего порядков.

Дополнительной целью данной работы является выбор необходимого количества и типа зависимостей эталонных уравнений для решения задачи распознавания.

В связи с непреодолимыми трудностями проведения сравнительного анализа эффективности критериев распознавания случайных образов трендов ценовых бирже-

вых графиков аналитическими методами был проведен имитационный эксперимент [6].

Для проведения имитационного эксперимента было использовано семнадцать двухпараметрических уравнений авторегрессии (см. табл. 1). Целесообразность применения этих функций обеспечивается простотой их аналитических выражений; малым количеством искомым параметров; их дифференцируемостью по искомым параметрам; наличием их в большинстве современных пакетов программного обеспечения ЭВМ; возможностью использовать минимальные величины скользящих временных окон ( $m \geq 3$ ).

**Таблица 1**

**Типы уравнений авторегрессии**

№ п/п	Вид зависимости	№ п/п	Вид зависимости
1	$y = a + bt$	10	$y = \frac{1}{a + bt}$
2	$y = a + b/t$	11	$y = \frac{t}{a + bt}$
3	$y = a + b \ln t$	12	$y = \frac{1}{a + be^t}$
4	$y = a + be^t$	13	$y = \frac{at^2}{b + t}$
5	$y = a + b\sqrt{t}$	14	$y = ab^t$
6	$y = a + b\sqrt[3]{t}$	15	$y = ab^{1/t}$
7	$y = a + b\sqrt[4]{t}$	16	$y = ae^{b/t}$
8	$y = a + bt^3$	17	$y = at^b$
9	$y = a + bt^4$		

Имитировались отрезки реализаций случайных процессов (сумма отсчетов нелинейных трендов с известными законами формирования и случайной компоненты). Эти отрезки отличались типом закона формирования трендов, параметрами этих законов, длительностями и уровнями дисперсии случайной компоненты. Для адекватности использованной имитационной модели реальным ценовым биржевым графикам параметры  $a$  и  $b$  уравнений из таблицы 1 генерировались случайным образом. Так как все экономические показатели имеют только положительные значения, то имитационное моделирование рассмотренных уравнений авторегрессии проводилось в первом квадранте декартовой системы координат. Траектории всех рассматриваемых уравнений авторегрессии при имитационном моделировании были равномерно распределены в квадрате с параметрами  $x = 20000$ ,  $y = 20000$ . Это позволяет утверждать, что имитировались все возможные рыночные ситуации большинства известных биржевых рынков.

С помощью программы на ЭВМ, реализующей исследуемый метод, для всех имитируемых образцов производилось их распознавание.

Аналитические выражения рассмотренных критериев распознавания приведены ниже:

– минимум остаточной дисперсии  $S_{ocm.j}^2$

$$S_{ocm.j}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_{ij})^2}{m - k},$$

где  $y_i$  – цена закрытия  $i$ -ого бара;

$\hat{y}_{ij}$  – значения  $j$ -го уравнения авторегрессии;

$m$  – временное окно усреднения;

$k$  – количество параметров уравнения авторегрессии;

– минимум относительной погрешности аппроксимации  $S_j$

$$S_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|y_i - \hat{y}_{ij}|}{y_i};$$

– максимум коэффициента взаимной корреляции  $r_{y\hat{y},j}$

$$r_{y\hat{y},j} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \hat{y}_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \cdot \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{y}_{ij}}{\sqrt{\left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i^2 - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \right)^2 \right] \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{y}_{ij}^2 - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{y}_{ij} \right)^2 \right]}};$$

– максимум коэффициента детерминации  $R_j$

$$R_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_{ij})^2}{\sum_{i=1}^m \left( y_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \right)^2};$$

– максимум F-критерия

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \hat{y}_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^m (\hat{y}_{ij} - y_i)^2} \cdot \frac{m - k}{k};$$

– минимум коэффициента автокор-

реляции первого порядка  $d_j^I$

$$d_j^I = \frac{\sum_{i=2}^m (e_{ij} - e_{i-1,j})^2}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2},$$

где  $e_{ij} = y_i - \hat{y}_{ij}$ ;

– минимум коэффициента автокорреляции второго порядка  $d_j^{II}$

$$d_j^{II} = \frac{\sum_{i=3}^m (e_{ij} - e_{i-2,j})^2}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2};$$

– минимум коэффициента автокорреляции третьего порядка  $d_j^{III}$

$$d_j^{III} = \frac{\sum_{i=4}^m (e_{ij} - e_{i-3,j})^2}{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2}.$$

Итогом имитационного эксперимента явились усредненные вероятности правильного распознавания случайных реализаций образов при вариации их законов формирования, уровней случайной компоненты, величины окна усреднения и рассмотренных критериев распознавания. В качестве минимального уровня было принято значение усредненной вероятности правильного распознавания равное 0,05. Необходимый объем имитационного эксперимента определялся именно этой величиной. При расчете средней вероятности правильного распознавания учитывались только те вероятности, числовые значения которых превышали этот уровень значимости. Таким образом, в действующий набор уравнений авторегрессии вошли уравнения из таблицы 1, усредненные вероятности правильного распознавания которых равнялись 0,06 и больше. Заметим, что действующий набор уравнений из таблицы 1 для каждого из рассмотренных выше критериев оказался строго индивидуальным.

Так как сумма усредненных вероят-

ностей правильного распознавания уравнений авторегрессии, вошедших в действующий набор, получилась ниже единицы, то полученные вероятности были нормированы.

Критерий распознавания уравнений авторегрессии считается лучшим, если усредненные вероятности правильного распознавания имеют меньший разброс  $D$  относительно средней вероятности правильного распознавания  $\bar{P}$ :

$$D = \frac{\sum_{j=1}^N (P_j - \bar{P})^2}{N - 1},$$

где  $\bar{P} = \frac{1}{N}$ ;

$N$  – количество уравнений, вошедших в эталонный набор.

Неравенство между собой вероятностей правильного распознавания случайных образов приведет к эффекту возникновения часто встречающихся ошибок – отдельным образам будут присвоены несвойственные им законы формирования. Это приведет к искажению выделенных трендов и, в конечном итоге, отразится на прибыльности реальных торговых биржевых систем.

Таким образом, критерии распознавания были ранжированы по степени эффективности на основе дисперсии усредненных вероятностей правильного распознавания. Чем меньше значение дисперсии, тем эффективность работы критерия распознавания выше в пределах действующего набора уравнений, соответствующего данному критерию.

С помощью имитационного эксперимента были найдены номенклатура и количество уравнений авторегрессии, которые определяются используемым критерием распознавания для каждого из рассматриваемых критериев распознавания.

Критерии минимума остаточной дисперсии, максимума коэффициента взаимной корреляции и максимума коэффициента детерминации показали примерно одинаковые результаты. Дисперсия вероятностей правильного распознавания для этих критериев составила 0,0126. Действующий набор обра-

зуют семь уравнений авторегрессии с номерами 1, 4, 5, 8, 9, 10, 12 (см. табл. 1).

Для критерия минимума относительной погрешности аппроксимации дисперсия вероятностей правильного распознавания составила 0,0084. Действующий набор образуют пять уравнений авторегрессии с номерами 1, 8, 9, 10, 12 (см. табл. 1).

Для критерия минимума коэффициента автокорреляции первого порядка дисперсия вероятностей правильного распознавания составила 0,027. Действующий набор образуют шесть уравнений авторегрессии с номерами 1, 2, 3, 4, 5, 8 (см. табл. 1).

Для критерия минимума коэффициента автокорреляции второго порядка дисперсия вероятностей правильного распознавания составила 0,0035. Действующий набор образуют шесть уравнений авторегрессии с номерами 1, 2, 3, 4, 5, 8 (см. табл. 1).

Отметим, что такие критерии распознавания, как максимум F-статистики, максимум коэффициентов автокорреляции остатков I, II и III порядков, можно использовать для распознавания (с высокой вероятностью правильного распознавания) конкретных рыночных ситуаций (выявлять конкретные законы формирования тренда). Однако,

для метода скользящей авторегрессии, адаптивной к типу уравнения выделяемого тренда, они не подходят, поскольку не учитывают реального многообразия типов уравнений трендов в ценовых биржевых графиках.

Исследуемый метод скользящей авторегрессии, адаптивной к типу уравнения выделяемого тренда, относится к категории аналитических инструментов, и изначально разрабатывался как инструмент технического анализа финансовых рынков [4].

Данный инструмент позволяет устранить недостатки традиционных скользящих средних (их низкую чувствительность к изменениям реальных ценовых графиков, которая ухудшается с ростом  $m$ ; ошибки смещения при выделении существенно нелинейных трендов, которые происходят из-за эффекта их линейаризации).

В качестве примера реализации данных исследований приведен ценовой график индекса Доу-Джонса. На этом графике выделим тренды традиционным и предложенным методом [3].

На рисунке 1 показаны «быстрая» ( $m = 8$ ) и «медленная» ( $m = 21$ ) простые скользящие средние и торговые сигналы, которые с их помощью генерируются.

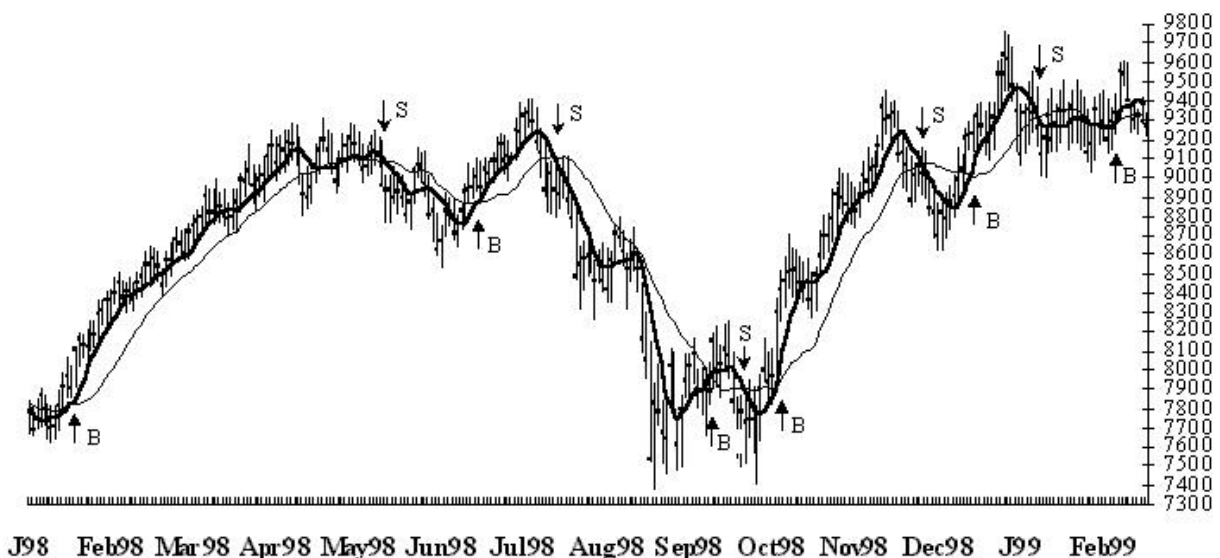
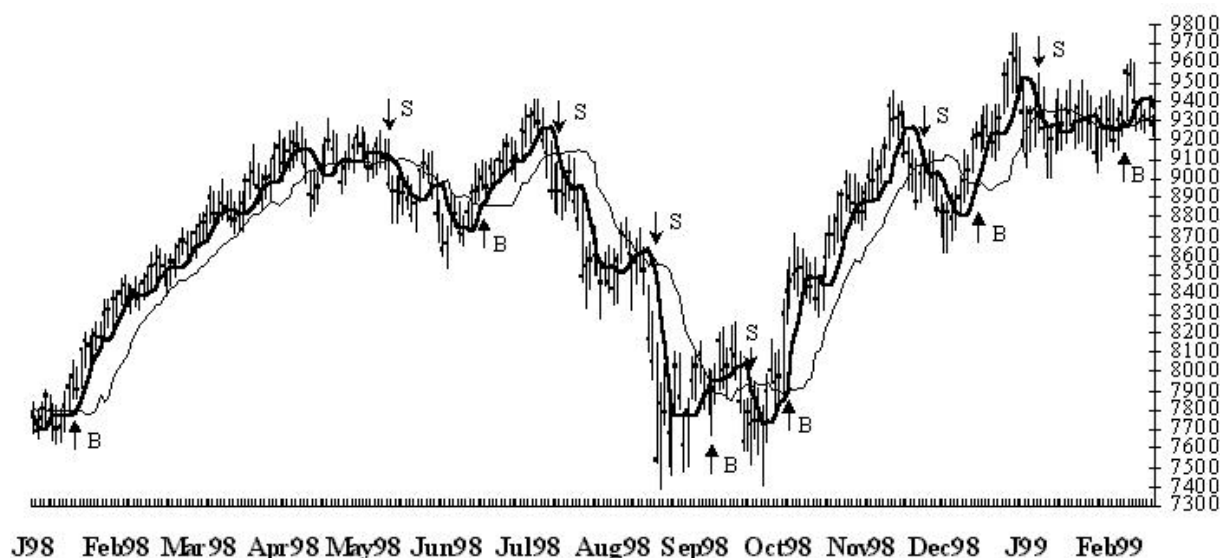


Рис. 1 – Сигналы покупки-продажи при использовании традиционного подхода

На рисунке 2 изображены новые скользящие средние, реализующие предложенный метод [3], и торговые сигналы. В качестве критерия распознавания случайных образов ценовых биржевых графиков ис-

пользован критерий минимума остаточной дисперсии и номенклатура из семнадцати уравнений (см. табл. 1). Соответствующие значения  $m$  совпадают с рисунком 1.



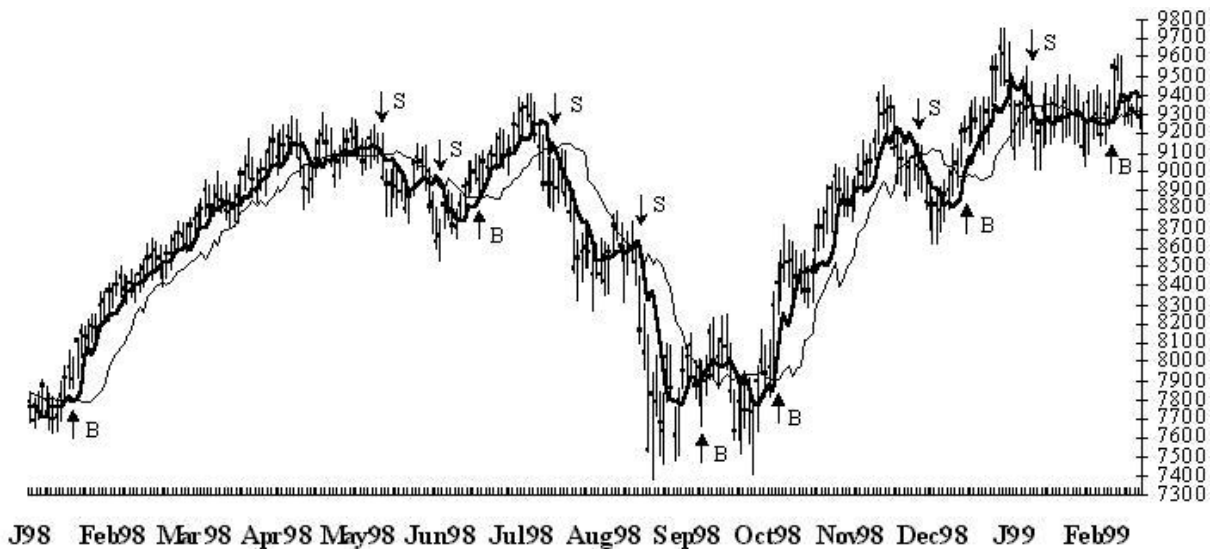
**Рис. 2 – Сигналы покупки-продажи при использовании предложенного подхода**

На рисунке 3 продемонстрированы новые скользящие средние, реализующие предложенный метод [3], и торговые сигналы. В качестве критерия распознавания случайных образов трендов ценовых биржевых графиков использован критерий минимума коэффициента автокорреляции остатков третьего порядка и набор уравнений с номерами 1, 2, 3, 4, 8, 9 (см. табл. 1). Соответствующие значения  $m$  совпадают с рисунками 1 и 2.

Детальное изучение приведенных выше рисунков позволяет отметить, что использование традиционных простых скользящих средних (см. рис. 1) приводит к потере многих “деталей” ценовых графиков. Заметен эффект смещения выделенных трендов – они сильно отстают от ценовых графиков. На рисунке 2 эффект смещения выражен

значительно меньше. Это привело к генерации дополнительных торговых сигналов. Как правило, генерируемые торговые сигналы на рисунке 2 опережают соответствующие торговые сигналы на рисунке 1.

Применение самого эффективного (по минимуму ошибочных решений) критерия распознавания случайных образов и использование определенного типа уравнений-эталонов (критерий минимума коэффициента автокорреляции остатков третьего порядка и уравнения с номерами 1, 2, 3, 4, 8, 9 (см. табл. 1)) привело к улучшению рабочих характеристик исследуемого метода [4]. Это свелось к повышению чувствительности метода (видны детали большого числа трендов), устранению некоторых ложных сигналов (см. рис. 3).



**Рис. 3 – Сигналы покупки-продажи при использовании предложенного подхода с учетом модификаций**

Окончательный вывод об эффективности модернизации метода [4] и его влиянии на экономические характеристики исследуемых торговых систем можно сделать после его тестирования. Только детальное сравнение реальных экономических характеристик торговых систем позволит сделать окончательные выводы об эффективности внесенных в работе предложений.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Самым эффективным критерием распознавания случайных образов из всех рассмотренных в данной работе для реализации предложенного метода скользящей авторегрессии, адаптивной к типу уравнения выделяемого тренда, является критерий минимума коэффициента автокорреляции остатков третьего порядка. Использование этого критерия позволяет сократить действующий набор уравнений авторегрессии, приведенных в таблице 1, до шести уравнений. В этот набор из шести уравнений вошли линейное, гиперболическое, логарифмическое, экспоненциальное, квадратическое и кубическое уравнения авторегрессии.

2. Такие критерии распознавания, как максимум F-статистики, максимум коэффициентов автокорреляции остатков I, II и III порядков, не подходят для использования их в рассматриваемом методе, но могут быть успешно использованы в других задачах распознавания. Это связано с малым числом использованных уравнений, которые не отражают всего многообразия типов выделяемых нелинейных трендов ценовых графиков.

3. Применение в методе скользящей авторегрессии, адаптивной к типу уравнения выделяемого тренда, критерия минимума коэффициента автокорреляции остатков третьего порядка позволит более точно оценить априорно неизвестные типы уравнения нелинейных трендов, снизить вероятность рисков принимаемых решений [7] и сократить объем вычислений на ЭВМ.

4. Апостериорное значение законов формирования существенно нелинейных трендов при реализации биржевых торговых систем позволит реализовать фильтрацию из общего количества торговых сигналов только тех, которые обеспечат большую прибыльность торговых сделок. Дополнительная

апостериорная информация приводит к повышению качества функционирования систем, в которых она используется.

5. Для каждого из рассмотренных критериев распознавания случайных образов определены действующие наборы эталонных уравнений авторегрессии (для каждого критерия свой набор). В случае малых значений усредненных вероятностей правильного распознавания использование дополнительных уравнений приводит только к увеличению ошибок распознавания, увеличению времени вычислений.

Применение предложенного метода позволит увеличить прибыль и сократить риски от торговли на биржах.

### Литература

1. Послання Президента України до Верховної Ради України “Європейський вибір: Концептуальні засади стратегії економічного і соціального розвитку України на 2002 - 2011 роки” від 10.07.2002 // Офіційне Інтернет-представництво Президента України [www.president.gov.ua](http://www.president.gov.ua).

2. Вильямс Б. Новые измерения в биржевой торговле; как извлечь прибыль из хаоса: рынки акций, облигаций и фьючерсов. – М.: ИК Аналитика, 2000. – 288 с.

3. Смирнов А. В., Гизатулин А. М.

Скользящая авторегрессия, адаптивная к типу уравнения выделяемого тренда // Экономика: проблемы теории и практики: Сб. науч. трудов. Вып. 175.– Днепропетровск: ДНУ, 2003. – С.98-105.

4. Смирнов А. В., Гизатулин А. М. Новый метод сглаживания ценовых графиков // Валютный спекулянт. – 2002. – №12. – С. 38 - 40.

5. Гизатулин А. М. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания случайных образов // Материалы XXX Юбилейной международной конференции и I Международной конференции молодых ученых «Информационные технологии в социологии, экономике, образовании и бизнесе». – Запорожье: ЗГУ, 2003. – С. 47 - 48.

6. Емельянов А., Власова Е., Дума Р. Имитационное моделирование экономических процессов. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

7. Смірнов О. В., Гізатулін А. М. Підвищення ефективності управління ризиками інвестиційних біржових проектів // Менеджер. Вісник Донецької державної академії управління. Науковий журнал. – 2003. – № 3. – С. 140 - 143.

Статья поступила в редакцию 04.12.2003