

УДК 669.004.8:622.785

А.П. Мешалкин, В.В. Перескока, В.М. Власенко, В.П. Камкин
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ В
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПУТЕМ
ПРИМЕНЕНИЯ ПОДГОТОВЛЕННЫХ
ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Аннотация. Представлены результаты исследований по разработке схем комплексной подготовки исходных и вариантов применения опытных материалов. Обоснован выбор исходных компонентов и режимов их тепловой или восстановительно-тепловой (ВТО) обработки, с учетом исходных свойств компонентов – отходов, физико-химических превращений в процессе ВТО. Определены наиболее рациональные направления использования полученного полупродукта с новыми приобретенными свойствами. Отмечено значительное снижение содержания серы и фосфора.

Ключевые слова: сталь, шлакообразование, известь, известняк, ожеженная известь, оксид железа, углерод

Введение. Современный кислородно-конвертерный процесс, благодаря неоспоримым технологическим возможностям, получил широкое распространение и в настоящее время является ведущим процессом производства стали. Наиболее перспективным направлением совершенствования кислородно-конвертерного процесса остается оптимизация дутьевого и шлакового режимов плавки с целью достижения максимального усвоения ванной кислорода и более эффективного использования физико-химических свойств шлакового расплава.

Постановка задачи исследования. В связи с кратковременностью продувки конвертерной ванны важно обеспечить раннее формирование активного основного шлака. Растворение извести без принятия специальных мер происходит медленно. Ускорение растворения извести достигается продувкой при повышенном положении кислородной фурмы для обогащения формирующегося шлака оксидами железа. Применение комплексных флюсов, загружаемых в конвертер вместе с известью или вместо нее, существенно ускоряет шлакообразование за счет образования

легкоплавких соединений, обеспечивающих эффективное растворение извести в шлаке [1].

Высокая ресурсо- и энергоемкость производства стали, определяемая уровнем развития технологии и оборудования, привела к образованию огромных количеств техногенных отходов с неиспользованным внутренним потенциалом сырьевых и энергетических резервов, которые нарушают экологическое состояние окружающей среды промышленно развитых регионов Украины. В связи с этим расширяется применение шлакообразующих материалов на основе отходов различных производств, обеспечивающих ускорение шлакообразования и ресурсосбережение.

Целью исследования является разработка способов получения и применения комплексных материалов со свойствами и назначением, регулируемые за счет изменения соотношений исходных компонентов – отходов и реализации гибкой технологической схемы их предварительной подготовки, позволяющей рационально использовать их энергетический и восстановительный потенциалы.

Основная часть

Разработка схем комплексной подготовки исходных и вариантов применения опытных материалов базируется на решении комплекса задач по: выбору исходных компонентов и режимов их тепловой или восстановительно–тепловой (ВТО) обработки, с учетом исходных свойств компонентов – отходов, физико–химических превращений в процессе ВТО и определению наиболее рациональных направлений использования полученного полупродукта с новыми приобретенными свойствами. Исходя из анализа современного уровня использования техногенных отходов, и на основании результатов исследований кафедры теории металлургических процессов и физической химии, наиболее целесообразным может быть использование в качестве исходных трех групп трудноутилизируемых отходов, определяющих возможность получения и многофункционального применения материалов на их основе:

- железосодержащие отходы – шламы и пыль газоочистки сталеплавильных цехов, отсеvy обогащения, концентраты вторичного обогащения «хвостов» основного обогащения;
- пылевидные отходы производства извести, известняки местного происхождения;
- углеродсодержащие отходы растительного происхождения.

Основанием для разработки составов и способа получения опытных шлакообразующих материалов являются результаты исследований кинетики пиролиза лигно-шламовых смесей [2], диссоциации известняка и восстановления железосодержащих материалов. Эффективность ранее разработанных способов производства теплоизолирующих и шлакообразующих защитных смесей для изоляции зеркала жидкой стали в изложнице, стальковше и кристаллизаторе МНЛЗ подтверждена опытно-промышленными испытаниями на заводах Украины, России и Белоруссии. Эти способы основаны на совместной тепловой обработке углеродсодержащего отхода растительного происхождения и минеральных компонентов, определяющих основные потребительские свойства получаемых материалов.

Путем совместной тепловой обработки пылевидных отходов производства извести и гидролизного лигнина разработан способ получения «черной извести» [3]. Совместный обжиг известняка и углеродсодержащего отхода позволяет увеличить содержание свободной CaO на 8-12 %, степень обжига известняка на 12-15% в сравнении с традиционными способами получения извести, уменьшить образование при производстве извести пыли и уменьшить расход дорогостоящего топлива. Регулируемое в процессе ВТО, за счет изменения температуры и скорости нагрева, времени выдержки и коэффициента избытка кислорода, соотношение CaO/C позволяет управлять течением основных металлургических реакций во время продувки конвертертной ванны. Так, введение порошкообразной «черной извести» в струе несущего газа (O_2 , Ar) в конвертерную ванну способствует более раннему наведению активного основного шлака и доведению реакций дефосфорации и десульфурации до более полного их завершения [4].

Результаты исследований процесса ассимиляции извести шлаком [5-7] свидетельствуют о том, что гидродинамический фактор (перемешивание шлакового расплава) является основной причиной ускорения процесса ассимиляции извести. Следует отметить некоторое несоответствие условий проведения экспериментов с продувкой аргоном [5] реальным условиям, при которых взаимодействие окислительного дутья со шлаком приводит к изменениям свойств шлакового расплава.

Известно, что в первые минуты продувки тормозящее влияние на скорость ассимиляции извести в условиях минимального количества шлакового расплава оказывает образующийся на поверхности куска извести слой бисиликата кальция – $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. В этих условиях, на что указывается в [8, 9] за первые 2–3 минуты нагрева ~ до

1150⁰С и выше резко уменьшается реакционная способность извести, что обусловлено укрупнением ее зерен вследствие спекания и рекристаллизации. Это может приводить к исчезновению с поверхности куска извести многочисленных пор, нивелированию преимуществ мягкообожженной извести перед жесткообожженной. Вследствие этого замедляется процесс шлакообразования, увеличивается продолжительность плавки.

С целью ускорения процесса растворения извести по разработанной технологической схеме ВТО с регулируемой температурой и коэффициентом избытка кислорода получены опытные комплексные шлакообразующие материалы, содержащие заданные, в зависимости от решаемой технологической задачи, количества СаО, СаСО₃, С и Fe_xO_y.

Исследованы присадки на жидкий металл и шлак различных периодов плавки известняков фракционного состава (3–15 мм) с различной степенью обжига (0–80%) Комсомольского, Хрустовского и Каменецкого месторождений. Перед вводом известняка присаживали компоненты шлака соответствующих периодов плавки и доводили их до сплавления. Установлено, что минимальное время растворения извести в шлаке происходит при вводе известняка фракции 5-10 мм в количестве 5-8% от жидкого металла (25 кг – ЛПЗ -67) и степени обжига известняка 40-60 %. Зафиксировано снижение температуры ванны на 20-30⁰С через 1 мин после усвоения известняка жидким первичным шлаковым расплавом при одноразовом вводе известняка. Эффект ускорения ассимиляции шлаком известняка со степенью предварительной диссоциации 40-60%, по-видимому, объясняется знакопеременными интенсивными перемещениями образцов известняка в шлаке, вызванными интенсивным выходом с их поверхности пузырьков СО₂ (эффект реактивной пульсации) и их химическим взаимодействием с компонентами расплава. Быстрый нагрев известняка приводит к тому, что образующиеся в извести открытые поры заполняются шлаком в результате капиллярного эффекта практически мгновенно, опережая возможное укрупнение зерен извести, вследствие рекристаллизации, снижающей реакционную способность материала [1, 10]. Снижение температуры ванны при дискретном трехразовом вводе известняка с интервалом 5 мин после получения жидкого шлака составило 20-30⁰С.

Обсуждение результатов

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о более быстром наведении шлакового расплава при присадке комплексных

шлакообразующих в виде брикетов на основе CaCO_3 , С и Fe_2O_3 по сравнению с использованием CaCO_3 со степенью обжига 50%. Этот эффект ускорения шлакообразования может быть объяснен лучшими условиями теплообмена между парой $\text{CaCO}_3\text{--CaO}$ и жидким металлом, более интенсивным заполнением открытых пор ($\eta_{\text{ме}} < \eta_{\text{шл}}$) и сохранением высокой реакционной способности извести.

При значительном удельном расходе кусков CaCO_3 возможно их слипание, ухудшение условий теплообмена со шлаком и значительное снижение температуры металлической ванны. В условиях дуговой электропечи это приводит к образованию «айсбергов», экранированию тепловой энергии дуг и теплоты от сгорания СО над поверхностью ванны, и перераспределению теплового потока приводит к ухудшению теплообмена со шлаковым расплавом. Положительно влияет на ускорение растворения кусков пары известняк-известь регламентированная по времени и в соответствующие периоды плавки. Это подтверждает определяющее влияние на интенсивность их усвоения шлаком поведение каждого куска извести в отдельности.

Как указывалось выше, в первые минуты продувки тормозящее влияние на скорость ассимиляции извести в условиях минимального количества шлакового расплава оказывает образующийся на поверхности куска извести слой бисиликата кальция – $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ [8,9]. Ускорение процесса ассимиляции извести первичными шлаками достигается при применении ожелезненной извести (ОИ), являющейся продуктом совместного обжига известняка и железосодержащего материала во вращающейся печи [1].

С целью определения влияния на результаты плавки ввода кальцийсодержащих материалов проведены две серии опытных плавов. В первой использовали кусковую известь (5-7мм), а во второй – опытный материала (в виде «таблеток»), полученный совместной восстановительно–тепловой обработкой ($600\text{--}800^\circ\text{C}$) мелкодисперсного известняка, углеродистого материала растительного происхождения и железосодержащего концентрата ($\text{Fe}\text{--}64\%$), полученного обогащением «хвостов» первичного обогащения. Степень обжига известняка составляла 50%. Использовали металл, расплавленный в индукционной печи ЛПЗ-67, содержащий 0,18–0,20% углерода соответствующего периода плавки. Продувку ванны осуществляли кислородом сверху через односопловую водоохлаждаемую фурму. В отдельных экспери-

ментах второй серии плавов осуществляли дополнительную продувку металла аргоном в течении 3 минут через алундовую односопловую донную фурму.

Установлено, что в случае присадки опытных шлакообразующих материалов достигнуто более низкое содержание фосфора и серы, что объясняется ускоренным наведением активного основного железистого шлака. Это обусловлено наличием в комплексном материале оксидов железа, углерода, совместное нахождение которых затрудняет образование на поверхности извести тугоплавкой пленки силикатов кальция и повышает реакционную способность извести.

Использовали два опытных комплексных материала, полученных совместной восстановительно-тепловой обработкой исходных компонентов. Состав опытных шлакообразующих материалов обеспечивал наведение шлакового расплава активного по отношению к фосфору и сере. Присадку добавок на расплавленный металл производили в следующем порядке: после начала продувки ванны кислородом вводили брикеты опытного материала ($C - 4,8\%$; $CaO - 48,5\%$ и $Fe_xO_y - 46,7\%$), полученные при температуре совместного обжига $600^{\circ}C$ и коэффициенте избытка кислорода $\alpha=0,85$; на пятой минуте продувки – брикеты ($C - 12\%$; $CaO - 70\%$ и $Fe_xO_y - 18,2\%$), полученных при температуре совместного обжига $800^{\circ}C$ и коэффициенте избытка кислорода $\alpha=0,85$. Содержание фосфора в готовой стали при использовании кусковой извести составило $0,0085\%$, а при вводе шлакообразующего комплексного материала – $0,0068\%$. Содержание серы – $0,021\%$ и $0,016\%$ соответственно. При использовании комплексных шлакообразующих материалов после их ввода на поверхность ванны отмечено кратковременное, равномерное вспенивание шлака.

Выводы

Отмеченное при проведении экспериментов более раннее образование шлака при вводе опытных комплексных шлакообразующих материалов на бесшлаковую поверхность жидкой стали, в сравнении с их ассимиляцией шлаковым расплавом, свидетельствует о возможности проведения конвертерной плавки с использованием опытных полупродуктов при корректировке их состава по ходу плавки с полной или частичной заменой традиционных флюсов (известь, плавиковый шпат).

Предварительные эксперименты с вводом порошкообразных шлакообразующих материалов, исключаящих стадию их предварительного брикетирования, в струе несущего газа (сверху - в струе ки-

слорода, снизу – в струе кислорода и аргона) показали перспективность применения этого технологического приема, реализующего преимущества введения дисперсных реагентов в объем металлической ванны [4,6].

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения шлакообразующих полупродуктов многоцелевого назначения, полученных на основе техногенных отходов по технологической схеме с максимальным использованием внутреннего потенциала свойств и энергии компонентов – отходов, улучшить экологию окружающей среды и сохранить запасы природного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шепель Б.А., Хайдуков В.П., Дереза В.П., Ольховская Г.А. Особенности структуры ожелезненной извести. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1991. - №3. – С. – 12 – 14.
2. Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Камкин В.П. Использование нетрадиционных материалов для десульфурации и дефосфорации конвертерной стали. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006.- №7. – С. 187-190.
3. А.с. SU. № 1474118 С 04 В 2/02. Способ получения извести / Виниченко Н. И., Костелов О. Л., Рочняк В. К., Мешалкин А. П. и др., заяв.22. 11. 86 г., опубл, 23. 04.89. Бюл. №15.
4. Величко А.Г., Мешалкин А.П., Камкина Л.В. Влияние взаимодействия реакционных зон на удаление серы и фосфора при газопорошковой продувке в конвертерах комбинированного дутья // Nove technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej. Chstochowa: Wydawnictwo Politechnicznej - 2008.- р. 345-349.- ISBN 978-83-7193-372-1.
5. Явойский А.В., Турлаев В.В., Фугман Г.И., Тарновский Г.А. Ассимиляция извести шлаком в конвертерах с пульсирующим дутьем // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1984. - №11. – С. – 40 – 45.
6. Охотский В.Б. Усвоение добавки сталеплавильной ванны // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - №7. – С. 126-130.
7. Охотский В.Б. Закономерности окончания продувки в конвертере. Модель процесса. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2005. - № 12. – С. 13 – 16.
8. Баптизманский В.И., Охотский В.Б. Физико – химические основы кислородно – конвертерного процесса. Киев. Техника. – 1981. – 211 с.
9. Бойченко Б.М., Баптизманский В.И., Костенецкий О.Н., Трубаев В.И. Кинетика растворения извести в кислородном конвертере и его вязкость. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1971. - №3. – С. – 34 – 38.
10. Владимиров И., Еринин Х. Кинетика растворения извести в кислородно – конвертерных шлаках. / ВЦП. – В 57891. М., 24.11.80. – 7с.

І.В. Баклан

ЛІНГВІСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: ОСНОВИ, МЕТОДИ, ДЕЯКІ ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ

Анотація. Розглядаються основи лінгвістичного моделювання – одного з нових напрямів нечисельного моделювання. Запропоновано новий підхід для представлення часових рядів, особливості лінгвістизації часових рядів, а також застосування лінгвістичного моделювання для вирішення задач прогнозування часових рядів, автентифікація користувача за його рухами мишкою, розпізнавання емоційного стану користувача та рання діагностика розладів руху. В основі лежить процес відновлення формальної граматики.

Ключові слова: структурний підхід, лінгвістичне моделювання, прогнозування часових рядів, автентифікація, розпізнавання образів

Постановка дослідження лінгвістичного моделювання

Головним завданням лінгвістичного моделювання є перетворення чисельних рядів, експериментальних даних, багатомірних даних до лінгвістичних послідовностей та відновлення за ними формальної граматики мови відповідного характеру для вирішення наступного спектру проблем: аналіз та прогнозування часових рядів, розпізнавання образів різноманітної природи, автентифікація користувача за його рухами, розпізнавання емоційного стану оператора, діагностика хвороб опорно-рухового апарату операторів складних технічних систем на ранніх стадіях захворювання.

Лінгвістичне моделювання базується на трьох основних підходах: структурний підхід та математична лінгвістика, інтервальні обчислення та робастні методи, сучасні методи ймовірнісного моделювання [1,2,3].

В основі лінгвістичного моделювання лежить лема існування ізоморфізма відворення чисельних даних до лінгвістичних послідовностей, на основі яких може бути побудована мова. Як висновок існування унікальної мови, яка фактично уособлюється наборами чисельних даних.

Початок цієї роботи був покладений при створенні математичних основ автентифікації оператора (користувача) складною технічною системою. Автентифікація - шлях встановлення вірогідності інформації, пред'явленої користувачем у разі звернення його до системи та відкриття йому доступу, якщо він має на це право. Дано загальну постановку завдання. Аналізується кінематика рухів оператора при керуванні складною технічною системою. При цьому стоїть необхідність автентифікації оператора – в цей момент керує складною технічною системою (СТС) оператор А чи не А. Якщо це не А, то хто керує СТС? Спектр складних технічних систем може бути від літака, космічного апарату до систем керування космічними станціями, атомними електростанціями, небезпечними військовими об'єктами, які можуть стати в руках терористів небезпекою для життя тисяч мирних мешканців. Орган керування – це технічний пристрій, який використовується для маніпулювання (керування) складною технічною системою (руль, штурвал, клавіатура, пульт та т. і.).

Слід зазначити, що на особливості динаміки поведінки оператора при керуванні СТС накладається вплив цілого ряду чинників, які можна класифікувати за такими напрямками, як постійні чинники та випадкові чинники. Під постійними (або фоновими) чинниками будемо мати на увазі чинники, які є постійною складовою впливу та не мають імовірнісний характер. У свою чергу постійні чинники розрізняють зовнішні та внутрішні. Конкретно, внутрішні чинники – це особисті властивості оператора СТС. Випадкові чинники мають чіткий імовірнісний характер. Враховуючи все вищезгадане можна сформулювати лему.

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_M\}$ – множину об'єктів назовемо *множиною автентифікації*. Нехай $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_N\}$ – множина параметрів, які назовемо *параметрами автентифікації*, $N = \dim R$. У деякі моменти t_j відбуваються виміри значень параметрів r_k , набір яких позначимо через $Z_{ijk} = z_{1ijk}, z_{2ijk}, \dots, z_{Nijk}$, де z_{Nijk} – це значення параметра r_k у момент t_j , $\dim Z_{ijk} = N$. Таким чином можливо розглядати часові ряди побудовані на парах $\langle Z_{ijk}, t_j \rangle$. Множину всіх можливих часових рядів,

побудованих на множинах R та Z , P^N назовемо *простором автентифікації*.

Лема: Для кожного o_i , $o_i \in O$ існує функція φ_i визначена на множині P^N така, що $\varphi_i(z_{1ijk}, z_{2ijk}, \dots, z_{iijk}, \dots, z_{Nijk}) = 0$ для всіх моментів часу t_j .

Звідси маємо, що існує відображення $\Phi: O \rightarrow P^N$.

Образ об'єкту o_i на просторі автентифікації $P^N: R_i = \Phi(o_i), R_i \subset P^N$.

Зворотнє відображення $\Phi^{-1}: P^N \rightarrow O$, назовемо *функцією автентифікації*. Дійсно маючи таке відображення просто вирішуємо задачу автентифікації на деякій підмножині $R_j \subset P^N: O_j = \Phi^{-1}(R_j)$. З іншого боку, легко бачити, що $R_j = \bigcap_i \Phi(o_i)$.

Ідеальним варіантом побудови Φ є побудова ізоморфізму (взаємно однозначної відповідності) на множині автентифікації O та просторі автентифікації P^N , тобто якщо $R_i = \Phi(o_i)$, то $o_j = \Phi^{-1}(R_i)$.

Таким чином вирішення задачі автентифікації полягає у пошуку такого розбиття та побудові на ньому відповідного відображення. Для будь-якої структури простору автентифікації P^N повинно було б існувати розбиття його на підмножини таким чином, що для будь-якої пари цих підмножин R_i та R_j є вірним, що $R_i \cap R_j = \emptyset$. При цьому $R_i = \Phi(o_i)$, $R_j = \Phi(o_j)$.

Слід відзначити, що такого розбиття може не існувати, тобто реально може мати місце факт, що $R_i \cap R_j \neq \emptyset$. Практичний момент будуть мати підмножини $R_i^0 = \Phi(o_i) \setminus \Phi(o_j)$ та $R_j^0 = \Phi(o_j) \setminus \Phi(o_i)$ є вірним, що $R_i^0 \cap R_j^0 = \emptyset$. При цьому $R_i^0 \subset R_i = \Phi(o_i)$, $R_i^0 \subset R_i = \Phi(o_i)$. R_i^0 та R_j^0 назовемо *зонами автентифікації*, а $R_{i,j}^- = R_i \cap R_j$ - *зоною зашумлення*. Якщо маємо $O = \{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_N\}$, $R_i = \Phi(o_i)$, $\forall o_i \in O$, то у загальному вигляді зона автентифікації об'єкта o_i - $R_i^0 = R_i \setminus \bigcup_{j \neq i} R_j$, а загальною зоною зашумлення буде підмножина $\bar{R} = \bigcup_{i=1, j=1}^N R_i \cap R_j$.

Враховуючи той факт, що відображення може й не бути, поставимо завдання для більш м'якшої задачі, яка полягає в тому, що шукається відображення Φ^{-1} таке, що $\Phi^{-1}(R_i) = O_j$, $O_j = \{o_1^j, o_2^j, \dots, o_L^j\}$, $L = \dim O_j$. При цьому $R_j \subset \bigcup_{k=1}^L \Phi(o_k^j)$.

Для вирішення завдання побудови простору ідентифікації можливо використання багатьох відомих математичних формалізмів. Одним з них ми пропонуємо лінгвістичне моделювання.

Загальна схема лінгвістизації часових рядів

В поданому нижче тексті розглянуто один з можливих підходів до проблеми аналізу та моделювання часових рядів за допомогою структурних підходів.

Одним з методів прогнозу є структурний (синтаксичний) підхід. Він базується на деяких принципах розпізнавання образів, яка складається з трьох основних частин – блока попередньої обробки, блока опису об'єкта, блока синтаксичного аналізу.

Кожний попередньо опрацьований об'єкт сегментується на складові частини об'єкта на підставі наперед визначених операцій та операцій об'єднання; в свою чергу кожна складова частина об'єкту ідентифікується за допомогою заданого набору зразків. Тепер кожний об'єкт подається набором зразків із визначеними синтаксичними операціями, тобто правил їх поєднання. Наприклад, в термінах операції „конкатенації” кожний об'єкт подається рядком зразків, які утворюють ланцюжок.

Більш досконалі системи повинні були б мати здібністю визначати різні синтаксичні відношення усередині об'єкту.

На базі структурного підходу [2,5] розроблено алгоритм реалізації методу, який полягає в наступному: нехай ми маємо ряд спостережень $\{y(i)\}$, де $y(i)$, $i = 1, \dots, N$ – це деякі значення, які отримано в ході спостереження з якимось кроком $\Delta t_i = \text{const}$, $i = 1, \dots, N$.

1. Порахуємо різниці $\Delta y(i) = y(i) - y(i+1)$, $i = 1, \dots, N$ між сусідніми значеннями ряду.

2. Відсортуємо окремо додатні та від'ємні значення $\Delta y(i)$ за спаданням (чи за зростанням). Отримаємо дві послідовності $a(k)$ і $b(l)$, $K + L = N - 1$.

3. Далі поставимо кожному члену послідовностей $a(k)$ і $b(l)$, символи абетки a_i і b_j $i = \overline{1, K}$, $j = \overline{1, L}$ відповідно.

4. Перепишемо послідовність $\Delta y(i)$ символами a_i і b_j також будемо ставити між парами сусідніх символів $a_q b_p$ символ c , а між парами сусідніх символів $a_m b_n$ символ d , які будуть означати точки локальних екстремумів в послідовності $y(i)$, локальні максимуми і локальні мінімуми відповідно. Отримаємо послідовність e_i .

В послідовності e_i проаналізуємо частоту існування пар символів $(e_i e_{i+1})$ $j = \overline{1, N-1}$ і побудуємо таблицю ймовірностей виникнення символу e_{i+1} $P_{j+1}(e_{i+1} | e_i)$.

Далі в послідовності e_i аналізуємо частоту існування трійок $(e_{i-1} e_i e_{i+1})$ $j = \overline{1, N-2}$ будуємо таблицю ймовірностей $P_{j+1}(e_{i+1} | e_i e_{i-1})$. В загальному випадку аналізуємо частоту існування ланцюжків $P_{j+1}(e_{i+1} | e_{i-k} \dots e_i)$. Тобто обчислюємо ймовірність появи символу e_{i+1} за умови що попередні символи є $e_{i-k} \dots e_i$.

За допомогою обчислених ймовірностей можемо зробити імовірнісний прогноз виникнення символу e_{i+1} за умови що відомі ланцюжки попередніх символів.

Особливий інтерес визиває розрахунок рівноймовірнісних інтервалів.

Нехай часовий ряд має N елементів. Стоїть задача вибору оптимального розміру інтервалу, який фактично задається кількістю елементів m , які до нього потрапляють. Ймовірність потрапляння елементу часового ряду до інтервалу буде дорівнювати $\frac{m}{N}$. Кількість інтервалів буде дорівнювати $K = \frac{N}{m} + 2$. Легко перевірити, що $\sum_{i=1}^K P_i$.

Тепер будуємо правила перетворення часового ряду до лінгвістичного ланцюжка.

Відновлення граматики сигналу на основі лінгвістичних ланцюжків

Розглянемо проблему навчання в рамках формальних грама-
тик.

Нагадаємо, що формальна граматика - це четвірка $G = (V_T, V_N, P, S)$, де V_T - алфавіт термінальних символів; V_N - алфавіт нетермінальних символів, причому $V_N \cap V_T = \emptyset$; $V_N \cup V_T = V$ - алфавіт граматика G ; P - множина правил підстановки; S - початковий символ, $S \in V_N$.

Нехай Γ_0 - деяка досліджувана мова. Введемо наступні визначення.

Лінгвістичною послідовністю (ланцюжком) $I(\Gamma_0)$ мови Γ_0 будемо називати послідовність ланцюжків, кожний з яких належить однієї з множин $\{\alpha^+ \mid \alpha^+ \in \Gamma_0\}$ або $\{\alpha^- \mid \alpha^- \in V_T^0 \setminus \Gamma_0\}$ з вказанням того, до якої множини буде належати той або інший ланцюжок. Послідовність ланцюжків мови $\{\alpha^+ \mid \alpha^+ \in \Gamma_0\}$ будемо називати позитивною лінгвістичною послідовністю $I^+(\Gamma_0)$, а послідовність ланцюжків з додавання мови $\{\alpha^- \mid \alpha^- \in V_T^0 \setminus \Gamma_0\}$ будемо називати від'ємною лінгвістичною послідовністю $I^-(\Gamma_0)$.

Лінгвістична послідовність $I(\Gamma_0)$ називається повною, якщо $I^+(\Gamma_0)$ має усі ланцюжки мови Γ_0 , $I^-(\Gamma_0)$ має всі ланцюжки, що не належать мові Γ_0 .

Граматика G узгоджена з граматикою G_0 , якщо породжувані ними мови співпадають $\Gamma(G) = \Gamma(G_0)$.

Нехай $C = \{G_i\}$ - клас граматик. Клас мов $\Gamma(C) = \{\Gamma(G) \mid G \in C\}$ називається ідентифікованим, якщо для будь-якої граматик $G \in C$ та будь-якої лінгвістичної послідовності $I(\Gamma(G))$ існує деяке число N та алгоритм, який би, отримуючи на вході підпослідовність $I(\Gamma(G))$, що має у складі не менш N ланцюжків, на виході дає граматик, узгоджену з граматикою G .

Поряд з поняттям лінгвістичної послідовності використовується поняття зразка (або вибірки) для мови Γ_0 . Зразком S_t мови Γ_0 будемо називати послідовність ланцюжків $\{\alpha_i\}_{i=1}^t$, для кожного ланцюжка якої відомо, належить вона мові Γ_0 або його доповненню $V_T^0 \setminus \Gamma_0$. Позитивним зразком будемо називати множину $S_t^+ = S_t \cup (V_T^0 \setminus \Gamma_0)$.

Граматика G називається сумісною із зразком S_t , якщо вона породжує усі позитивні приклади цього зразка й не породжує жодного від'ємного прикладу.

Структурно повний зразок $S_t(\Gamma(G))$ мови $\Gamma(G)$ - це зразок, маючий у складі такі ланцюжки, при побудові яких кожне правило підстановки граматики G було використане хоча по одному разу.

Існує два варіанти постановки завдання відновлення граматики.

У першому формулюванні (на яку будемо посилалися як на проблему узгодження) передбачається, що є деяка щира граматика G_0 , і потрібно по інформаційній послідовності побудувати таку граматику G , яка була б погоджена із граматикою G_0 , тобто $\Gamma(G) = \Gamma(G_0)$.

У другому формулюванні (на яку будемо посилалися як на проблему граматичного висновку) вважається, що за зразком S_t необхідно побудувати таку граматику G , яка б породжувала всі ланцюжки позитивного зразка $S_t^+(i, \text{можливо, нескінченна безліч інших ланцюжків})$ і не породжувала ланцюжка негативного зразка $S_t^-(i, \text{можливо, нескінченна безліч інших ланцюжків})$, тобто була б сумісна із цим зразком.

Побудова гібридних моделей на основі лінгвістичного підходу

Основи гібридизації лінгвістичних та ймовірнісних моделей були викладені в ряді робіт [7,8]. Викладемо основні принципи гібридизації: принцип неоднорідності, принцип плюралізму, принцип системного аналізу неоднорідного завдання, принцип конструктора, принцип пріоритету знань, принцип поступовості, перший та другий принципи спадкування, принцип самоорганізації агрегованої моделі, принцип повноти, принцип зниження продуктивності агрегованої моделі.

Дані принципи ні в якому разі не претендують на істину останньої інстанції, або на строгий характер математичних або логічних правил. Ці принципи певним чином узагальнюють с погляду автора світову практику досліджень розробки гібридних інтелектуальних систем прийняття рішень. Використання цих принципів дозволить робити агреговані моделі там де це доцільно, такими які вони повинні бути, та функціонуючими таким чином, щоб не розчаровувати своїх творців.

Класичні гібридні системи комбінують аналогові та дискретні моделі. Агрегативні системи моделюють аналітико-статистичні закономірності біхаверістики складних систем. Методологія інтелектуа-

льних експертних систем дозволяє перебороти недоліки символічного підходу за рахунок комбінування із традиційними інформаційними технологіями та технологіями штучного інтелекту.

У кожному із цих випадків мова йде про становлення нової інформаційної методології моделювання складних процесів й явищ шляхом побудови й застосування моделей-гібридів. З розглянутого видно, що існують різні шляхи для досягнення поставленої мети.

Звичайно, що ці підходи не є вичерпними для усього різноманіття методологій розробки й використання агрегованих моделей. Залишаються відкритими питання розробки гібридних моделей, які комбінують більш ніж два автономних методи й інформаційні технології, питання комбінування, релевантного складності завдання, питання адаптивності складу й структури агрегату залежно від змін у складі й структурі розв'язуваного завдання та багато інших питань.

Практичне застосування лінгвістичного моделювання

Окреслимо ті прикладні галузі та задачі, вирішення яких пропонується використанням лінгвістичного моделювання: аналіз та прогнозування часових рядів [9], задача розпізнавання користувача за його рухами (автентифікація [10], визначення емоційного стану користувача [11], рання діагностика хвороб операторів складних технічних систем на ранніх стадіях захворювання за рухами).

Людино-комп'ютерна взаємодія на емоційному рівні є одним з перспективних напрямків науки, орієнтованої на забезпечення природних шляхів використання комп'ютерної техніки. Не секрет, що для органічної взаємодії комп'ютера з людиною, він повинен мати здатність розпізнавати емоційний стан людини.

Відомі розробки щодо використання відображення людських емоцій за допомогою міміки. Такого роду роботи зосереджені на автоматичне розпізнавання емоцій особи з введеної відеоінформації, яка поступає з відповідних пристроїв спостереження.

Оскільки відображення певного емоційного стану людини представлена часовим рядом рухів мишкою, цілком природно кожному емоційному стану поставити у відповідність гібридну ЛМ-ПММ та перехідні до нього стани людини. Будемо розглядати шість основних емоційних станів людини: 1) радість, 2) злість, 3) подив, 4) відраза, 5) страх, 6) сум.

Новою прикладною галуззю є питання пов'язані з застосуванням гібридних моделей на основі лінгвістичних та прихованих Марковських моделей для ранньої діагностики діскинезії (порушень рухової діяльності).

Будь-якою осмисленою руховою активністю керує кора головного мозку. Саме тут виникає спонукання до дії, що по нервових волокнах надходить у спинний мозок, звідки й посиляють імпульси в м'язи. Підтримувати центр ваги тіла й координувати руху, не особливо замислюючись, ми вміємо завдяки мозочку. А за м'язовий тонус, ритмічність і плавність рухів відповідають підкіркові ядра головного мозку. Завдяки їм ми здатні на безліч різноманітних дій: біг, стрибки, танцювальні па. Багатство емоційних реакцій (плач, сміх, міміка) теж сфера діяльності підкіркових ядер.

Порушення в роботі цієї складної системи проявляються всілякими мимовільними рухами. Така надмірна активність називається в медицині гримеркою. Для подібних станів характерне ослаблення тону мускулатури в сполученні з мимовільними безглуздими рухами й м'язовими спазмами.

Бувають наступні прояви нав'язливої рухової активності: тремор; міоклонія- моментальне скорочення одного м'яза або групи м'язів; тік - короткі, різкі, повторювані здригування голови, тулуба, м'язів особи, рук або ніг; хорея — швидкі хаотичні рухи; атетоз - хробакоподібні рухи; гемібалізм - мимовільні кидкові або обертальні випадки одною рукою;

Багато хто з описаних порушень рухової активності свідчать про захворювання нервової системи. Їхні причини можуть бути найрізноманітнішими: невротичні розлади; токсичні поразки головного мозку (наприклад, алкоголем або з'єднаннями міді); спадкоємні або вроджені хвороби; прийом деяких ліків; травми головного мозку, у тому числі родові; уживання деяких наркотиків; пухлини головного мозку; розладу мозкового кровообігу (атеросклероз, інсульт і його наслідки).

Зрозуміло, що ранішня діагностика таких проявів можлива при аналізі рухів людини мишкою під час роботи за комп'ютером.

Застосовуючи лінгвістичне моделювання, ми можемо дослідити відповідні зв'язи у лінгвістичних ланцюжках. На допомогу тут нам приходить апарат стохастичних та темпальних формальних грама-

тик. Практична реалізація цих алгоритмів може стати в нагоді для служб безпеки особливо небезпечних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баклан І.В. Структурний підхід до розпізнавання образів у системах безпеки / Баклан І.В., Селін Ю.М., Петренко О.О. // Національна безпека України: стан, кризові явища та шляхи їх подолання. Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 7-8 грудня 2005 р.). Збірка наукових праць. - К.: Національна академія управління — Центр перспективних соціальних досліджень, 2005. - С.375-380.
2. Баклан І.В. Використання карт Кохонена в задачах структурного аналізу поведінки часових рядів / Баклан І.В., Селін Ю.М. // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук.-прак. конф., 15–18 трав. 2006 р. Євпаторія. — Херсон: ХМІ, 2006. — Т. 3. — С.54–58.
3. Баклан І.В. Аналіз поведінки економічних часових рядів з використанням структурних підходів / Баклан І.В., Селін Ю.М. // Сборник МКММ-2006. - Херсон: ХГТУ, 2006.
4. Fu K.S. Syntactic Pattern Recognition and Application. - N.J.: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs., 1982. - 596 p.
5. Баклан І.В. Гібридні моделі в статистичних методах розпізнавання образів / Баклан І.В., Рифа В.М. // Вісник ХДТУ. - 2003. - № 3(19). - С.26-28.
6. Баклан І.В. Гібридні технології в проектуванні інтелектуальних систем прийняття рішень / Баклан І.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1. — Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2009. — С.32 –37.
7. Баклан І.В. Імовірнісні моделі для аналізу та прогнозування часових рядів/ Баклан І.В., Степанкова Г.А. // Искусственный интеллект. - 2008. - N 3. - С. 505-515.
8. Баклан І.В. Використання ймовірнісних моделей для аутентифікації оператора складної технічної системи / Баклан І.В. // Національна безпека України: стан, кризові явища та шляхи їх подолання. Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 7-8 грудня 2005 р.). Збірка наукових праць. - К.: Національна академія управління — Центр перспективних соціальних досліджень, 2005. - С.380-386.
9. Баклан І.В. Розпізнавання емоцій людини за рухами мишкою за допомогою багаторівневих прихованих Марковських моделей / Баклан І.В. // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2010: Материалы Международной научно-технической конференции. - Донецк: ИПИИ “Наука і освіта”. - 2010. - Т.2. - С.27-30.

А.П. Гожий

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЦЕНАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Анотація. Розглянуті різні особливості і аспекти побудови інформаційно-аналітичних систем для вирішення завдань сценарного планування. Приведена інформаційна модель сценарію. Розглянута архітектура інформаційно-аналітичної системи. Наведено приклад реалізації системи.

Сценарное планирование в настоящее время находит широкое применение: от планирования на уровне отдельных предприятий, корпораций до разработки стратегий развития отраслей и регионов, поскольку данный подход наиболее полно отвечает задачам исследования и прогнозирования поведения различных систем и процессов. Сценарное планирование является одним из способов преодоления неопределенностей, которые являются неотъемлемой частью процессов прогнозирования и принятия решений, а также способом перевести неопределенность будущего в частично управляемый со стороны человека (ЛПР), процесс. Сегодня существует ряд методологий сценарного планирования, которые отличаются концептуально и применением различных методов. Основные из них следующие: StratX, SF-SA, MICMAC, GENERON CONSULTING, GBN, TERRA, SAMI CONSULTING, SCMI, SRI Consulting Business Intelligence, ICL,[3-8] TAIDA,[2] Методология технологического предвидения (ИПСА НТУ “КПИ”) [1].

Отражение всех основных аспектов решаемой задачи построения сценариев может быть достигнуто посредством применения многомодельного подхода, когда выбор решений производится с привлечением не одной, а нескольких, как правило, разнородных математических моделей. Совокупность же различных требований, которые предъявляются к решениям, с необходимостью приводит к многокритериальной постановке задач выбора эффективных решений, поскольку для большинства требований представление их в виде огра-

ничений не может быть признано обоснованным из-за отсутствия некоторых исходных данных для такого представления. Таким образом, проблемы сценарного планирования должны ставиться и решаться как задачи многокритериального и многомодельного выбора эффективных решений на комплексе нескольких математических моделей. При этом необходимо решить следующие методологические и информационные задачи:

- выбор самого семейства решений (альтернатив), которые наиболее эффективны для решения задач построения сценариев при заданных внешних условиях;

- обоснование критериев для оценки эффективных решений при построении сценариев и распределение их по моделям;

- объединение решений (моделей) в единый комплекс, для решения задач сценарного планирования, например для задачи многокритериального выбора структуры сценария;

- внутримодельное и межмодельное согласование (упорядочение) критериев.

Информационная модель сценария описывается с помощью следующего множества элементов

$$S = \{Fs, Gs, Cs, Ss, Rs\},$$

где $Fs = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ - множество функций, которые реализуются в сценарии;

Gs – множество целей, которые необходимо достичь с помощью сценария;

Cs – множество ограничений на входные и исходные параметры сценария;

Ss – множество событий сценария.

Rs – множество связей между событиями сценария.

Множество ограничений $Cs = Cs_{in} \cup Cs_{out}$ включает два подмножества. Первое подмножество $Cs_{in} = \{Cs_{in}^1, Cs_{in}^2, \dots, Cs_{in}^k\}$ включает ограничение на входные параметры, $Cs_{out} = \{Cs_{out}^1, Cs_{out}^2, \dots, Cs_{out}^m\}$ - ограничение на выходные параметры сценария. Каждый элемент для i -го входного Cs_{in}^i или j -го выходного Cs_{out}^j элемента включает значение ограничений $Cs_{in}^i = \{Cs_{in,low}^i, Cs_{in,high}^i\}$ и $Cs_{out}^j = \{Cs_{out,low}^j, Cs_{out,high}^j\}$. Следует отметить,

что количество подмножеств множественного числа S_s может расти в зависимости от детализации описания и по мере расширения области построения сценариев.

Множество связей представлено как подмножество связей каждого этапа сценария $R_s = \{rs_1, rs_2, \dots, rs_z\}$. Каждый элемент подмножества описывает набор входных и исходных связей с другими элементами структуры сценария (событиями). Разработанная информационная модель сценария дает возможность описать сценарий и использовать ее в процессе построения сценария для сохранения данных об интегральной структуре сценария. Структура обработки информации при решении задач сценарного планирования представлена на рис.1.

Развитие современных информационных технологий, методологии моделирования сложных систем и решения задач прогнозирования и стратегического планирования дает возможность создания информационно-аналитической системы (ИАС) для решения разнообразных задач сценарного планирования. Использование информационно-аналитической системы сценарного планирования позволяет системно решать разнообразные задачи, направленные на прогнозирование развития ситуаций, развития сложных систем и процессов.

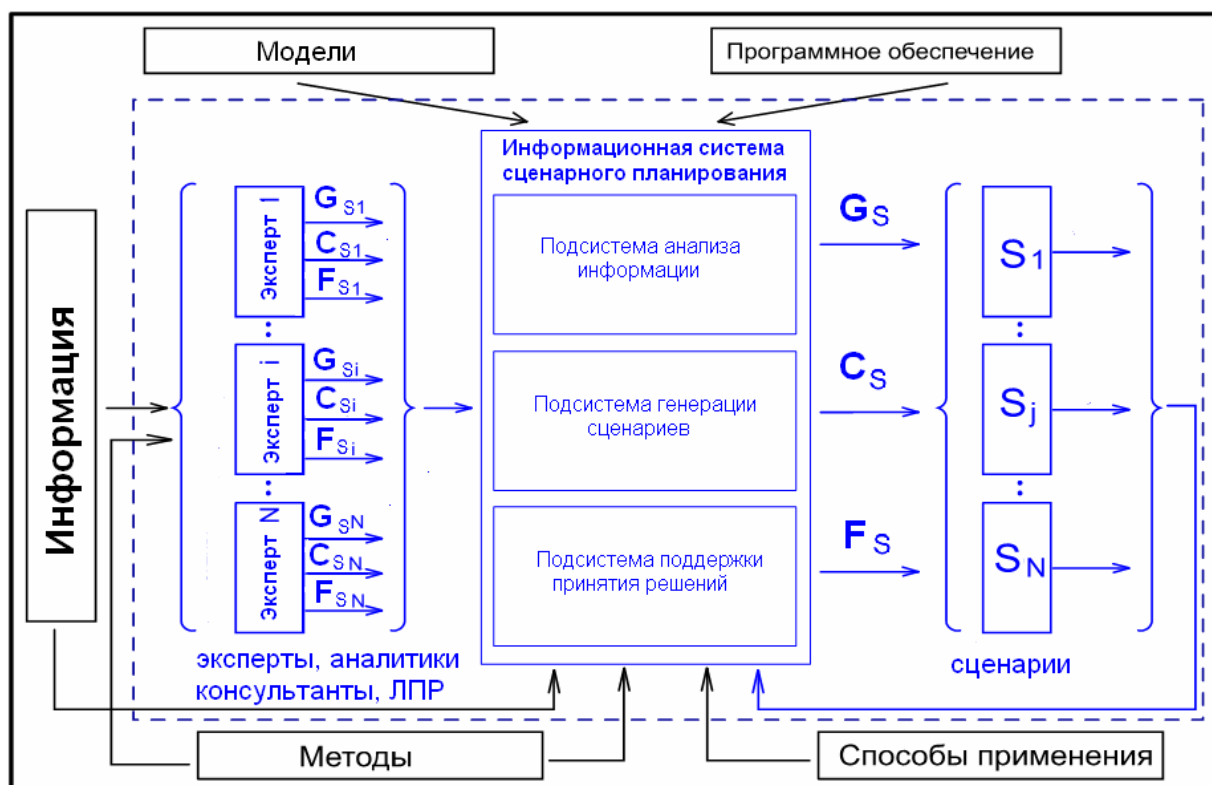


Рисунок 1 - Структура обработки информации при решении задач сценарного планирования

Данная ИАС обеспечит, для аналитиков и экспертов возможности решения широкого круга задач:

- задач непараметрического статистического анализа данных;
- задач построения сценарных деревьев и деревьев решений;
- задач связанных с экспертным оцениванием данных, выявлением основных критериев и параметров исследования динамических характеристик систем;
- задач группового и многокритериального принятия решений;
- задач оценивания эффективности проектов и сценариев.

Разрабатываемая ИАС строится по модульному принципу с открытой архитектурой, обеспечивающей возможность изменения конфигурации системы, а также вида и числа входящих в ее состав модулей и информационных компонентов. Включаемые в ИАС математические модели выбираются разработчиком сценария в зависимости от конкретной задачи сценарного планирования и построения вариантов сценария при ориентации на решение определённого класса задач.

Основу ИАС составляют: подсистема анализа информации, подсистема построения сценариев, подсистема принятия решений и управляющий модуль, а также подсистема организации диалога и ввода в систему информации для формирования баз данных сценариев и их элементов. Для связи между подсистемами используется информационно-управляющая среда, которая обеспечивает передачу данных между отдельными модулями подсистем, управление процессом решения задач и сохранением и обработкой информации, необходимой для решения стоящих перед системой задач.

Адаптация системы для решения определенной задачи заключается в разработке методологии решения каждой из подзадач, выделении в архитектуре, системы специального, реализующего данную методологию, проектно-решающего модуля, а также создании базы имитационных моделей. Архитектура ИАС, адаптированной к задачам сценарного планирования, представлена на рис. 2.

Применение предложенной системы позволяет сократить временные затраты, необходимые для выработки как стратегических, так и тактических решений при разработке сценариев, а также минимизировать негативные последствия, связанные с их реализацией.

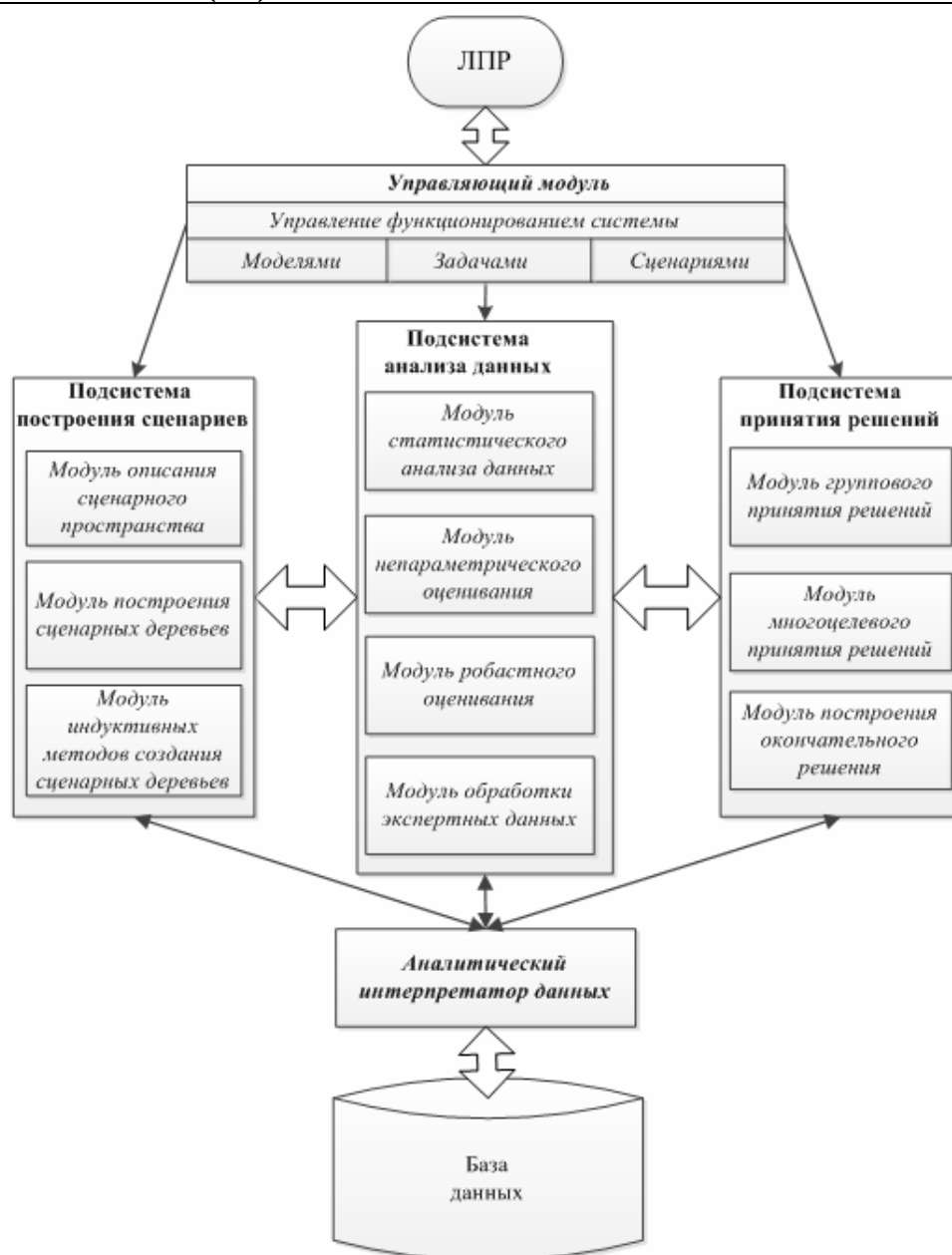


Рисунок 2 - Архитектура ИАС, адаптированной к решению задач сценарного планирования

На рис.3 представлен внешний вид интерфейса системы. С помощью данного программного комплекса возможно и решение локальных задач не связанных с разработкой сценариев (обработка и анализ данных, статистическая оценка, принятие решений).

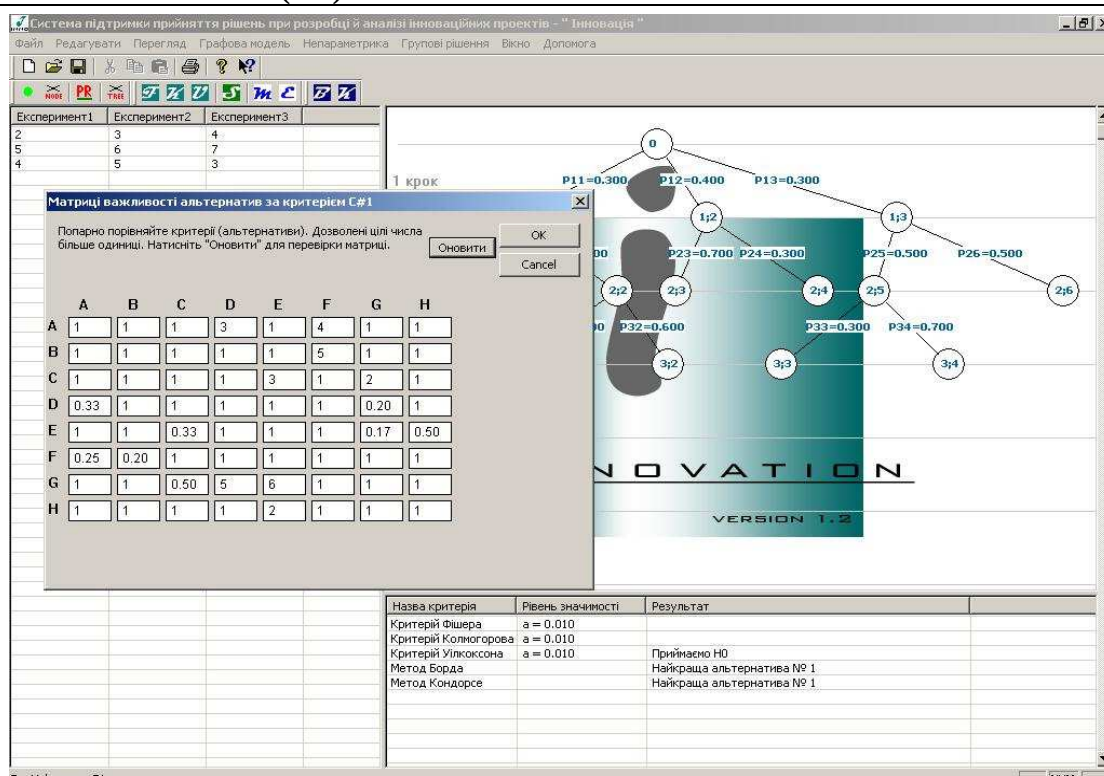


Рисунок 3 - Внешний вид интерфейса системы

Направлением дальнейшего развития ИАС является автоматизация взаимосвязей между подсистемами, что должно повысить оперативность принимаемых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. – К., 2007. – 544 с.
2. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование: связь между будущим и стратегией: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009. – 256с.
3. Мосягин А.А. Сценарное моделирование ситуаций при мониторинге потенциально опасных объектов // Технологии техносферной безопасности. – 2007. – Вып. 6.
4. Рингланд Д. Сценарное планирование для разработки бизнес-стратегии: Пер. с англ. – М.: ООО «ИД «Вильямс», 2008. – 560 с.
5. Mercer D. Scenarios made easy, Long Range Planning. — Vol. 28. — № 4. — 1995. — Pp. 81—86.
6. Bourgeois L. J. Strategic management from concept to implementation, University of Virginia, Darden Graduate School of business, 1998.
7. Schoemaker Paul J.H. Multiple Scenario Development: its conceptual and behavioral foundation // Strategic Management Journal. — Vol. 14. — № 3. — 1993. — Pp. 193—213.
8. Van der Heijden K. Scenarios, Strategies and the Strategy Process Nijmegen University Press, 1997.

В.А. Гужов, Л.Э. Чалая, А.В. Чижевский
**МЕТОД ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ
«УЧЕНЫЕ УКРАИНЫ» ПО ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ**

Аннотация. В работе проведен анализ проблемы оперативного поиска данных в социальных сетях. Показана перспективность применения онтологических моделей для реализации семантического подхода к обработке запросов пользователей социальных сетей. Построена онтологическая модель социальной сети «Ученые Украины», предназначенной для обеспечения координации научной и педагогической деятельности отечественных ученых. Предложен алгоритм семантического поиска информации по разработанной онтологической модели.

Ключевые слова: социальная сеть, онтологическая модель, семантический поиск, байесовская классификация, релевантность

Введение

В последнее время получили развитие социальные сети различного функционального назначения в качестве эффективного механизма взаимодействия пользователей глобальной сети Интернет. Социальная сеть, дополненная поддерживающими сервисами, представляет собой интерактивный многопользовательский веб-сайт, контент которого наполняется не только разработчиками, но и самими участниками сети [1].

На кафедре искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники разрабатывается компьютерная социальная сеть «Ученые Украины», предназначенная для обеспечения координации научной и педагогической деятельности отечественных ученых. Одним из наиболее важных условий эффективного функционирования этой сети является реализация процедуры оперативного поиска необходимой информации. В частности, предполагается организация поиска по персональным данным ученых, зарегистрированных в сети, по группам, создаваемым пользователями, по форуму и по материалам, выложенным на сайте (публи-

кациям, объявлениям и т.д.). Основной задачей, возникающей при работе с распределенными полнотекстовыми коллекциями документов, является задача поиска документов по их содержанию. При этом критерии поиска могут быть основаны на анализе текстов (например, отыскать в сети конкретного пользователя можно путем нахождения текстовых фрагментов, содержащих информацию (личные данные, научные интересы, специальность), наиболее релевантную введенному запросу) [2,3]. Однако ставшие традиционными средства контекстного поиска по вхождению слов в документ зачастую не обеспечивают адекватного выбора информации по запросу пользователя. Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является семантический поиск, который позволяет находить ресурсы не только по заданным словам из запроса, но и по эквивалентным по смыслу терминам. Например, по запросу «искусственный интеллект» при поиске по публикациям машина поиска сайта должна понимать, что статьи, с такими ключевыми терминами как «инженерия знаний», «робототехника», «обработка естественных языков» и др., также относятся к тематике запроса, даже если там нет непосредственного использования словосочетания «искусственный интеллект». Для эффективного семантического поиска необходима информация о предметной области, свойственных ей понятиях и отношениях между ними, а также ограничениях, свойственных этим отношениям. Такую информацию принято называть онтологией. Онтологии включают доступные для компьютерной обработки определения основных понятий предметной области и связей между ними.

Представляется перспективным применение в социальных сетях методов семантического поиска с использованием предварительно разработанной онтологической модели.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения оперативности обработки запросов пользователей социальной сети «Ученые Украины» на основе методов семантического поиска. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- построить онтологическую модель сети «Ученые Украины»;
- разработать алгоритм семантического поиска информации с использованием онтологической модели.

Онтологическая модель социальной сети

Для реализации на сайте семантического поиска была построена онтологическая модель социальной сети «Ученые Украины». Эта модель включает в себя следующие основные понятия: ученый; научная специальность; группа; публикация; сайт; новости; форум; сообщения.

Формально можно определить онтологию как множество

$$O = (L, C, F_l, F_c, R_h), \quad (1)$$

где $L = \{(w_i, x_i)\}_{i=1,n}$ – словарь терминов предметной области, w_i – термин; x_i – его рейтинг относительно других терминов концепции.

$C = \{c_i\}_{i=1,m}$ – набор понятий (концепций),

$F_l(L) \rightarrow C$ – функция интерпретации терминов – сопоставляет набору терминов из словаря подмножество концепций;

$F_c(C_i) \rightarrow L$ – функция интерпретации концепций – сопоставляет концепции набор терминов из словаря;

R_h – отношения иерархии между концепциями.

В качестве функции интерпретации терминов примем $P(c_i|u)$ – вероятность выбора концепции при условии запроса u .

Расширим словарь L , дополнив его определениями всех терминов и исключив вместе с тем понятие «рейтинг термина». Тогда L можно формально определить так: $L = \{v_i\}$, где v_i – это тексты, включающие в себя термин, его синонимы и определение.

Примем два предположения относительно слов в запросе u :

- все слова в запросе u являются одинаково важными;
- все слова в запросе u являются статистически независимыми, т.е. значение одного слова запроса однозначно не связано со значением других слов запроса.

Тогда функцию интерпретации $F_l(L) = P(c_i|u)$, используя формулы наивной классификации, можно представить следующим образом:

$$P(c_i|u) = \arg \max \left(\prod_i (P(w_j|c_i)) \right), \quad (2)$$

где w_j – слова из запроса u ,

$P(w_j|c_i)$ – вероятность принадлежности слова w_j к концепции c_i .

Очевидно, что:

$$P(w_j | c_i) = \frac{n_k + 1}{n + |L|}, \quad (3)$$

где n_k – количество упоминаний слова w_j в текущей концепции c_i ,
 n – общее количество различных слов в текущей концепции c_i ,
 $|L|$ – мощность множества слов во всех концепциях.

В итоге, применяя к исходному запросу функцию интерпретации (2), можно получить номер той концепции из формируемой онтологии (1), которая наиболее релевантна теме запроса. После чего необходимо расширить запрос терминами из найденной концепции с помощью функции интерпретации концепций ($F_c(C_i) \rightarrow L$).

Поскольку в основе онтологии лежит древовидная структура концепций, то определив наиболее релевантную концепцию, получаем также список подчиненных концепций, термины которых могут служить дополнением к исходному запросу.

Организация семантического поиска данных по онтологической модели

Следует отметить, что не всегда результат поиска, содержащий одну концепцию, наиболее релевантную входящему запросу, дает возможность предоставить пользователю в качестве ответа действительно те данные, которые он хотел найти. Например, при введении запроса «А. Иванченко. Доказательство алгоритмической неразрешимости проблемы остановки машины Тьюринга» (поиск по публикациям) будет найдена концепция, соответствующая тематике запроса, а, следовательно, будет сформирован список всех зарегистрированных в сети публикаций по данной теме, в котором пользователь вынужден будет самостоятельно искать конкретную публикацию А. Иванченко.

Общая схема предлагаемого алгоритма семантического поиска информации с использованием онтологической модели социальной сети, позволяющего существенно снизить возможность возникновения таких ситуаций, приведена на рис. 1.

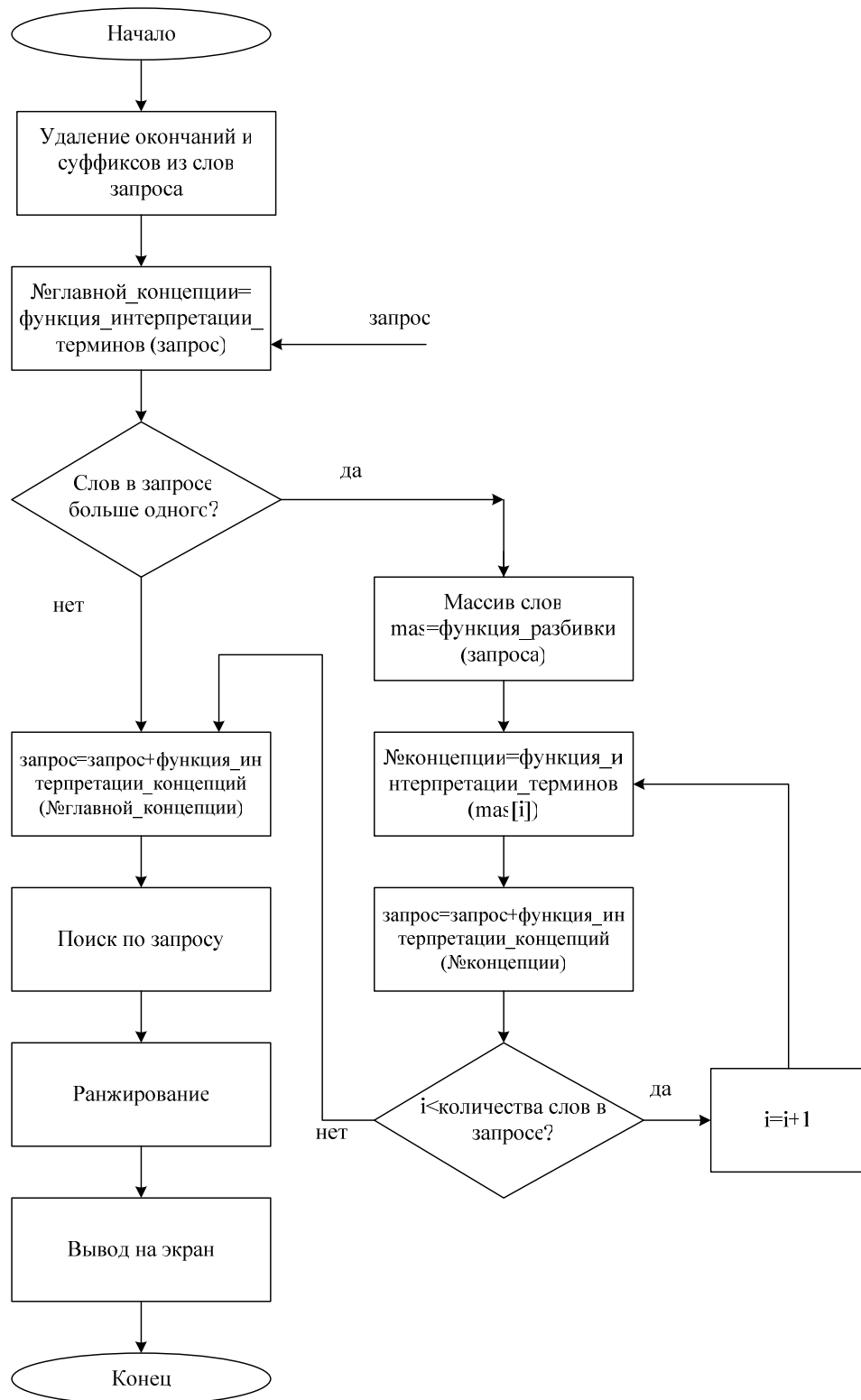


Рисунок 1 - Алгоритм поиска данных по онтологической модели

Его реализация предполагает выполнение поисковой системой социальной сети следующих действий:

– после того, как с помощью функции интерпретации найдена основная концепция, запрос разбивается на подзапросы, каждый которых содержит лишь одно слово исходного запроса;

– для всех сформированных подзапросов с помощью функции интерпретации вид (3) определяется номер концепции, после чего исходный запрос расширяется терминами (однако в него не добавляются термины из подчиненных концепций).

Такое расширение исходного запроса позволяет свести к минимуму возможность потери той информации, которая может быть важна пользователю, но при этом возникает проблема избыточности получаемых данных.

Частично избавиться от такой избыточности можно путем автоматического ранжирования получаемой по запросу информации по ее релевантности. Большинство запросов пользователей сайта социальной сети связано с поиском текстовых данных. В частности, задача поиска данных о конкретном ученом сводится к поиску текстовых фрагментов, содержащих информацию (личные данные ученого, его научные интересы, специальность и т.д.), наиболее релевантную введенному запросу. После расширения запроса (в соответствии с рассмотренным выше алгоритмом семантического поиска) формируется выборка ответов. Для того чтобы избавиться от избыточных ссылок, содержащихся в этой выборке, необходимо ранжировать полученные результаты. В результате такого ранжирования пользователь вначале получит наиболее релевантные ответы, а если его не удовлетворят данные, содержащиеся в первых ссылках, он может продолжить просмотр результатов поиска по расширенному запросу.

Ранжирование результатов может быть, например, осуществлено с помощью алгоритма байесовской классификации. Этот алгоритм позволяет оценить вероятность того, что текущий ответ (в виде текста) интересует пользователя, инициировавшего соответствующий запрос. При этом результатом поиска является формирование списка ответов, ранжированных по таким вероятностям.

В социальной сети «Ученые Украины» предполагается для поиска информации использовать также комбинированный подход, основанный, в частности, на семантическом поиске и поиске по ключевым словам (здесь в виде фрейма рассматривается HTML-страницы, а содержимое фреймов (слоты) – ссылки на отдельные страницы).

Результаты тестового моделирования подтверждают работоспособность рассмотренного подхода.

Выводы

Реализация эффективного семантического поиска в социальных сетях может быть осуществлена с использованием предварительно разработанной многокомпонентной онтологии, позволяющей устранять избыточность данных, получаемых пользователем сети в соответствии с запросом по заданной тематической категории. Предложенный в настоящей работе алгоритм положен в основу разработки социальной сети «Ученые Украины», предназначенной для обеспечения координации научной и педагогической деятельности отечественных ученых. Перспективным продолжением выполненных исследований является возможность дополнения схемы семантического поиска поиском по ключевым словам, используемых во фреймовой модели репозитория научных публикаций, зарегистрированных в базе данных социальной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gruber, T. R. A translation approach to portable ontology specifications / T. R. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. № 5(2).
2. Zakharova, I. V. An approach to automated ontology building in text analysis problems / I. V. Zakharova, A. V. Melnikov, J. A. Vokhmitsev // Workshop on Computer Science and Information Technologies, 2006. P. 177–178.
3. Melnikov, A. V. Method of automatic ontology creation based on bibliographic databases / A. V. Melnikov, I. V. Zakharova // Workshop on Computer Science and Information Technologies, 2005. P. 270–272.

О.О. Дробахин, А.В. Доронин, Е.Н.Привалов

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СВОБОДНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ МИКРОВОЛНОВЫМ
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТРАЖЕНИЯ**

Аннотация. На основе электродинамической математической модели системы антенна-отражатель для объектов с отражающими плоскими и неплоскими поверхностями методом конечных элементов получены сигналы зондов в волноводном тракте. Применение нейросетевых технологий для описания полученной модели позволило исключить влияние ряда искажающих факторов в СВЧ интерференционном методе измерений и вследствие этого повысить точность оценок местоположений объектов.

Ключевые слова. Интерференционный измеритель вибраций, нейронная сеть, отражающие объекты с неплоскими поверхностями

Введение. Усовершенствование средств измерения параметров механических перемещений и вибраций является актуальной научно-технической задачей. Микроволновые методы обеспечивают безынерционность и бесконтактность измерений. При нахождении исследуемого объекта в условиях термических нагрузок, наличия агрессивной среды именно эти обстоятельства являются решающим фактором в пользу выбора микроволновых методов.

Анализ публикаций. Для решения указанного класса задач могут быть применены радиолокационные средства [1]. Вместе с тем аппаратура в этом случае является достаточно сложной и дорогостоящей, что ограничивает широкое применение соответствующих средств. Наиболее популярным из микроволновых методов измерения параметров движения является интерференционный метод [2]. Согласно этому подходу измерение параметров вибрации объекта СВЧ методами сводится к измерению фазы соответствующего коэффициента отражения (КО) объекта, расположенного в свободном пространстве. Традиционно для измерения комплексного КО на одной частоте

применяется четырехзондовый измеритель [2], который может рассматриваться как устройство, реализующее интерференционный метод. Возможным также является использование трехзондового измерителя [3].

Постановка задачи. Однозначная связь между фазой измеряемого КО и расстоянием до объекта имеет место при условии зондирования плоской волной, что не соответствует действительности при использовании, например, апертурного излучателя. Оценить влияние формы объекта исследования, реальных характеристик приемопередающей антенны на фазовые характеристики внесенного КО в зависимости от расстояния между плоскостью апертуры и объектом в аналитическом виде не представляется возможным. Универсальным методом для получения указанных зависимостей является метод конечных элементов. Нейросетевые технологии позволяют получить по эмпирическим данным модели нейронных сетей, которые в неявном виде связывают данные.

Цель исследований. Повышение точности оценивания параметров перемещения контролируемого объекта на основе построения с помощью нейросетевых технологий неявной модели зависимости сигналов детекторов от положения объектов.

Основная часть. Полномасштабная электродинамическая задача для СВЧ части интерференционного измерителя параметров вибрации требует определения поля в области больших электрических размеров, что порождает задачи огромной размерности. Вследствие этого построение вычислительной схемы только на основе метода конечных элементов для решения задач указанного класса заведомо не только неэффективно, но и во многих случаях невозможно.

Расчет был проведен по упрощенной схеме. Методом конечных элементов производился расчет КО от металлического объекта электромагнитной волны, излученной рупорной антенной. Сигналы на зондах в волноводном тракте определялись как результат интерференции опорной падающей и отраженной волн на основе плосковолновой модели распространения в таком тракте по аналогии с тем, как это было проведено в [4]. Исключение из рассмотрения при расчете методом конечных элементов измерительной секции, а также генераторной части обусловлено тем, что их присутствие не влияет сущест-

венным образом на структуру электромагнитного поля в пространстве между рупорной антенной и объектом.

Исходя из необходимости обеспечения компактности измерительной аппаратуры и максимального значения однозначного определения фазы, была выбрана длина волны 30 мм. Для рассматриваемой задачи опытным путем было установлено, что при этой длине волны, размерах апертуры рупорной антенны 40×40 мм, длине рупора 40 мм и сечении волновода 23×10 мм максимальными допустимыми размерами внешнего параллелепипеда являются 100×100×170 мм. Для выполнения условий расчета поперечные размеры металлического отражателя не должны превышать 70 мм.

Для большинства образцов объектов, подверженных вибрации, элементы их поверхностей, могут быть представлены в виде фрагментов плоских, выпуклых или вогнутых поверхностей. В качестве плоских отражателей были взяты металлические объекты в виде квадрата 70×70 мм и кругов с диаметром 70, 50 и 40 мм. В качестве неплоских поверхностей были выбраны части цилиндрической поверхности радиусом 66,25 мм, длиной образующей 70 мм и хордой 70 мм, ориентированные выпуклой или вогнутой поверхностью в сторону рупорной антенны. Расстояние от плоскости апертуры до отражателя изменялось в диапазоне от 50 до 155 мм с шагом 1 мм. Полученные зависимости имели интерференционный характер с шагом порядка 15 мм, что соответствует половине длины волны в свободном пространстве.

Результаты расчетов показали, что при ориентации вектора электрического поля параллельно образующей цилиндрической поверхности для вогнутой поверхности значения модуля КО при удалении отражателя от антенны существенно превышают значения модуля КО от плоского отражателя. Такое поведение КО может быть объяснено фокусирующим эффектом, имеющим место для вогнутого отражателя. Для случая отражателя с выпуклой цилиндрической поверхностью, как и следовало ожидать, значения модуля КО несколько ниже значений для плоского отражателя за счет эффекта более интенсивного рассеяния электромагнитной волны выпуклой поверхностью отражателя по сравнению с плоской.

Для случая ориентации вектора электрического поля перпендикулярно образующей цилиндрической поверхности эффект фокусирующего действия вогнутой отражающей поверхности не столь ярко

выражен по сравнению с предыдущим случаем. Относительно выпуклой поверхности отражателя можно сказать, что поведение КО аналогично случаю, когда вектор электрического поля параллелен образующей цилиндра.

Для отражателей в виде круга значения модуля КО для расстояний порядка 50-80 мм мало отличались при изменении радиуса, поскольку объект в этом случае перехватывает практически весь излучаемый пучок. Для больших расстояний значения модуля КО для дисков большего радиуса превышают соответствующие значения для кругов меньшего радиуса. Тот факт, что при различных расстояниях наблюдаются разные значения модуля КО, открывает возможность определения расстояния до объекта в отличие от случая сугубо плоской волны, когда результаты измерений для положений объекта, отстоящих на расстояние в полдлины волны, не отличаются друг от друга.

При равномерном перемещении отражателя, а также в предположении, что электромагнитная волна является плоской, фаза КО изменяется по линейному закону. Наибольшее отклонение фазовой характеристики от линейной имеет место для выпуклой цилиндрической поверхности по сравнению с вогнутой при ориентации образующей цилиндра параллельно вектору электрического поля. Для всех типов отражателей характерным является то, что в непосредственной близости от апертуры антенны отклонения максимальны, затем наблюдается некоторое уменьшение, а затем вновь небольшое увеличение.

Сопоставление отклонений фазовых характеристик КО в случае использования в качестве отражателей круга и квадрата также свидетельствует об их практической идентичности в диапазоне рассматриваемых перемещений отражающего объекта.

Следует отметить, что наибольшее отличие в отклонениях фазовой характеристики от линейной имеет место для выпуклой цилиндрической поверхности по сравнению с вогнутой при ориентации цилиндрической образующей параллельно вектору электрического поля. Для всех типов отражателей характерным является то, что в непосредственной близости от апертуры антенны отклонения максимальны, затем наблюдается некоторое уменьшение, а затем вновь небольшое увеличение.

Таким образом, форма отражающей поверхности рассмотренных отражателей в большей степени влияет на модуль КО. На фазе КО различия в формах отражающих поверхностей сказываются в меньшей степени, однако и в этом случае для вогнутой поверхности отражателя характерно меньшее отклонение фазовой характеристики от линейной. Данный факт может быть объяснен тем, что при вогнутой поверхности отражателя происходит частичная коррекция фазового фронта электромагнитной волны, а также ее фокусировка.

Отклонение фазовых характеристик от линейности вызывает существенные ошибки в определении расстояния до объекта при помощи интерференционных методов путем решения системы линейных уравнений по данным измерений 3-х и 4-х зондовыми методами в соответствии с подходом [4].

Для объекта в виде круга радиусом 70 мм максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений расстояния составило 2,52 мм; модуль среднего отклонения – 1,53 мм. Зависимость погрешности имеет осциллирующий характер с четко выраженным наличием тренда, ведущего к возрастанию ошибки. При моделировании отражения от объекта в виде плоского квадрата со сторонами 70×70 мм метод решения системы линейных уравнений для 4-х и 3-х зондов обеспечивал, соответственно, максимальную погрешность оценки 1,95 и 2,71 мм, а модуль среднего отклонения составлял 1,15 и 1,88 мм.

Для цилиндрической поверхности с образующей параллельной вектору электрического поля метод решения системы линейных уравнений для 4-х и 3-х зондов обеспечивал максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений 4,97 и 5,66 мм; модуль среднего отклонения – 2,05 и 2,79 мм. Таким образом, наличие кривизны отражающей поверхности привело к заметному возрастанию уровня погрешности.

Зависимость фазы КО от расстояния носит сложный характер, который не может быть описан простыми аналитическими соотношениями. С учетом уникальных возможностей нейронных сетей получать связи между массивами входных и выходных данных была исследована возможность оценивания значений местоположений объекта как выхода нейронной сети, обученной на значениях сигналов детекторов, которые будут получены для расположения объекта кон-

кретной формы, при условии его размещения на последовательности расстояний, охватывающих интересующий диапазон значений.

Для решения поставленной задачи была выбрана трехслойная рекуррентная нейронная сеть прямого распространения. В качестве функций активации нейронов входного и скрытого слоев были выбраны логистические функции (S-функции), для выходного слоя – линейная функция активации. Входной слой содержал в себе 3 нейрона, что соответствует числу входных сигналов от детекторов. Таким образом, была рассмотрена структура интерференционного измерителя с тремя зондами. Выходной слой содержал 1 нейрон, соответствующий линейной координате контролируемого объекта. Число нейронов во внутреннем (скрытом слое) подбиралось исходя из результатов тестирования натренированных моделей. Наилучшие результаты показала модель нейронной сети, имеющая 30 нейронов в скрытом слое, при этом был использован алгоритм Левенберга–Маркварда [5].

Точность тренировки нейронной сети составляла 10^{-3} , что составляло в пересчете на выходные значения 10^{-3} мм. Для тренировки использовалась лишь половина данных компьютерного моделирования (выбиралось каждое второе значение исходного множества данных). Качество функционирования натренированной математической модели нейронной сети контролировалось подстановкой всего имеющегося набора данных.

Максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта в виде круга от эталонных значений составило 0,14 мм; модуль среднего отклонения $7,8 \cdot 10^{-3}$ мм. Применение нейросетевых технологий для обработки данных для объекта в виде квадрата позволило получить максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений 0,13 мм и модуль среднего отклонения $3,1 \cdot 10^{-3}$ мм.

Для выпуклой цилиндрической поверхности образующая, которой параллельна вектору электрического поля, при применении нейросетевых технологий максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений составило $8,3 \cdot 10^{-3}$ мм; модуль среднего отклонения $2,61 \cdot 10^{-3}$ мм. Для вогнутой цилиндрической поверхности образующая, которой параллельна вектору электрического поля, при применении нейросетевых технологий максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого

объекта от эталонных значений составило $4,99 \cdot 10^{-3}$ мм; модуль среднего отклонения $2,5 \cdot 10^{-3}$ мм. Для выпуклой цилиндрической поверхности образующая, которой перпендикулярна вектору электрического поля, при применении нейросетевых технологий максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений составило $8,94 \cdot 10^{-2}$ мм; модуль среднего отклонения $3,39 \cdot 10^{-3}$ мм.

Таким образом, при наличии отклонений фазовой характеристики от линейной зависимости применение нейросетевых технологий позволило существенно повысить точность определения местоположений объекта по данным интерференционного метода измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головки В.И. Радиолокационный контроль металлургических процессов. / В. И. Головки, О. Н. Кукушкин, Н. В. Михайловский и др. – Днепропетровск, Журфонд, 2010. – 428 с.
2. Бондаренко И.К. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. / И. К. Бондаренко, К. А. Дейнега, З. А. Магачев – М.: Сов. Радио, 1969. – 301 с.
3. Drobakhin O. O. Holographic Approach to Microwave Measurement / O. O. Drobakhin, V. A. Karlov // Proceedings of 16-th International Symposium on Electromagnetic Theory – Thessaloniki, Greece, 1998. – V. 1. – pp. 109-111.
4. Дробахин О. О. Измерение параметров перемещения элементов конструкций интерференционным методом с применением нейросетевых технологий для обработки информации / О. О. Дробахин, А. В. Доронин, Д. Ю. Салтыков, В. В. Григорьев // Техническая механика. – 2009. – №1. – С. 118 – 122.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. / С. Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА ПРИ НАЛИЧИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛА КВАЗИДЛИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. Предложен метод оценки частоты синусоидального сигнала при наличии выбросов в данных. Оценка частоты производится на основе коэффициентов линейного предсказания, полученных путем минимизации функционала квазидлительности с применением генетических алгоритмов.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, функционал квазидлительности, импульсные помехи, линейное предсказание

Постановка проблемы. Оценка значения частоты синусоиды возникает во многих приложениях. Одним из них является определение частоты вибраций по данным бесконтактных измерений с помощью СВЧ методов. Другим типичным приложением является определение доплеровской частоты в радиолокации малоскоростных целей, например, в технологической радиолокации для определения скорости движения элементов оборудования. При этом и в первом, и во втором случаях одним из наиболее важных критериев выбора алгоритма оценивания является его корректная работа, как в условиях гауссовского шума, так и при наличии импульсных помех.

Анализ публикаций по теме исследования. Для определения частот гармонического сигнала наиболее широко используются метод Прони [1] и метод пучка матриц [2], они применимы в случае гауссовского шума и могут работать с сигналом, состоящим из нескольких компонент, но наличие импульсных помех приводит к появлению некорректных результатов. Оценка частоты одной компоненты возможна так же и с помощью квазиоптимального алгоритма оценки частоты сигнала, полученного на основе модели авторегрессии–скользящего среднего с использованием метода максимального правдоподобия при допущении независимости значений порождающего

процесса и малом уровне шума [3]. Он прост в реализации и требует незначительных вычислительных ресурсов. Этот метод используется при наличии гауссовского шума или импульсных выбросов, но для случая комбинации этих двух видов помехи результаты значительно ухудшаются.

Формулирование целей статьи. Обеспечение высокой точности оценки частоты уединенной гармонической компоненты при наличии как аддитивного гауссовского шума, так и импульсной помехи.

Основная часть. Рассматриваемый сигнал имеет вид

$$y_n = \cos(2\pi f n) \quad (1)$$

Уравнения линейного предсказания для сигнала (1) имеют такой же вид, как и в методе Прони:

$$\begin{aligned} a_1 y_2 + a_2 y_1 + y_0 &= e_0 \\ a_1 y_3 + a_2 y_2 + y_1 &= e_1 \\ &\dots \end{aligned} \quad (2)$$

где a_1 и a_2 - коэффициенты линейного предсказания, e_i - ошибки, зависящие от искажений сигнала и от правильности определения коэффициентов линейного предсказания.

Из-за вещественности сигнала (1) и отсутствия затухания коэффициент a_1 всегда равен единице, поэтому достаточно найти только a_2 . Подставляя (1) в первое уравнение из (2), считая что $e_0 = 0$, получаем:

$$\cos(4\pi f) + \cos(2\pi f) a_2 + 1 = 0 \quad (3)$$

Решая это уравнение, находим следующие значения частоты f :

$$f = \frac{1}{2\pi} \arccos\left(-\frac{a_2}{2}\right) \quad (4)$$

Известно, что метод Прони дает коэффициенты линейного предсказания, полученные по методу наименьших квадратов [1]. Это равносильно минимизации ошибки с квадратичной целевой функцией:

$$\rho_i = e_i^2 \quad (5)$$

Такой подход является оптимальным при наличии гауссовского шума. Если же сигнал искажается импульсными помехами, то квадратичная целевая функция перестает быть оптимальной. При наличии единичных выбросов и отсутствии других видов искажений

наилучшим вариантом будет использование следующей функции (рис. 1а):

$$\rho_i = \begin{cases} 0, & e_i = 0 \\ 1, & e_i \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Но минимизацию в таком случае проводить сложно, поэтому заменим ее функционалом квазидлительности (рис. 1б) [4]:

$$\rho_i = (e_i^2 + \sigma^2)^\beta - \sigma^{2\beta} \quad (7)$$

где e_i - ошибка, σ - СКВ шума, β - подстроечный параметр, который чаще всего равен 1/16. Параметр σ дает возможность использовать функционал квазидлительности при наличии гауссовского шума.

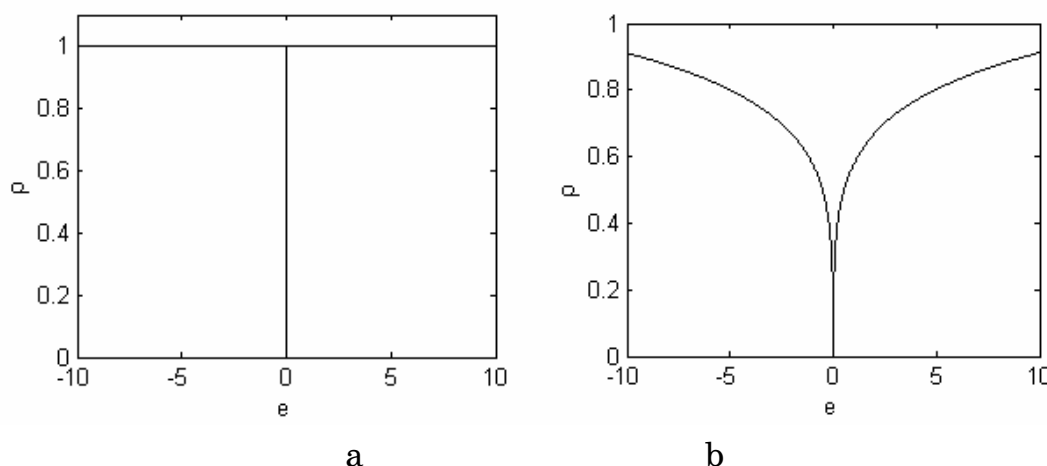


Рисунок 1 - Робастные целевые функции

Для демонстрации особенностей использования различных целевых функций сформируем сигнал с помощью уравнения (1). Количество отсчетов возьмем равным 11, амплитуда сигнала равна 1, нормированная частота равна 0.4. Добавим сюда два выброса: в третьем отсчете, равный 3, и в седьмом отсчете, равный -2. На рис. 2 видна зависимость суммы квадратичной функции ошибки (5) и функционала квазидлительности (7) от точности определения коэффициента a_2 .

Очевидно, что при наличии выбросов минимизация квадратичной целевой функции даст смещенное значение коэффициента линейного предсказания. В то же время использование функционала квазидлительности дает минимум несмещенный относительно истинного значения a_2 , но кроме глобального минимума, появляются еще и локальные минимумы, что затрудняет применение обычных методов минимизации. Для решения этой проблемы были использованы гене-

тические алгоритмы, с последующей минимизацией результата с помощью симплекс-метода Нелдера-Мида [5].

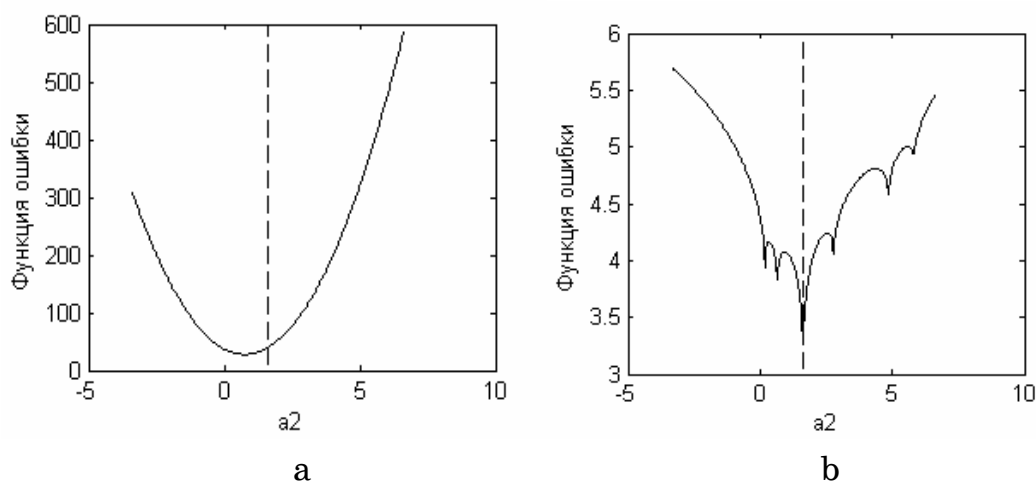


Рисунок 2 - Зависимость суммы квадратичной функции ошибки (а) и функционала квазидлительности (b) от коэффициента a_2 при заданном сигнале с двумя импульсными выбросами. Пунктиром обозначено истинное положение a_2

Для исследования разработанного метода возьмем сигнал, сформированный на основе формулы (1) длиной 20 отсчетов и с единичной амплитудой. Популяция генетического алгоритма равна 50, количество поколений – 100. В целевой функции 7, параметр сигма равен 0.01, меньшие значения этого параметра делают зависимость функционала квазидлительности от ошибки (рис. 1b) более острой, что усложняет нахождение минимума. Сравнение производится с квазиоптимальным алгоритмом оценки частоты сигнала из [3]. На рис. 3 приведена зависимость ошибки нахождения частоты синусоиды от истинной частоты сигнала. Гауссовский шум в сигнале отсутствует. На рис. 3а показан случай с двумя выбросами $y_6 = 10$, $y_{12} = -7$. Очевидно, что использование генетических алгоритмов дает несколько худшие результаты, чем метод максимального правдоподобия, но порядок ошибки 10^{-4} незначительный, причина ошибок в ограничении количества итераций при использовании симплекс-метода для уточнения результата. Если расстояние между выбросами взять равное двум ($y_6 = 10$, $y_8 = -7$), то использование квазиоптимального алгоритма оценки частоты сигнала приводит к некорректным результатам, как и указывается в [3], а минимизация функционала квазидлитель-

ности дает такие же результаты, как и в предыдущем случае (рис. 3b).

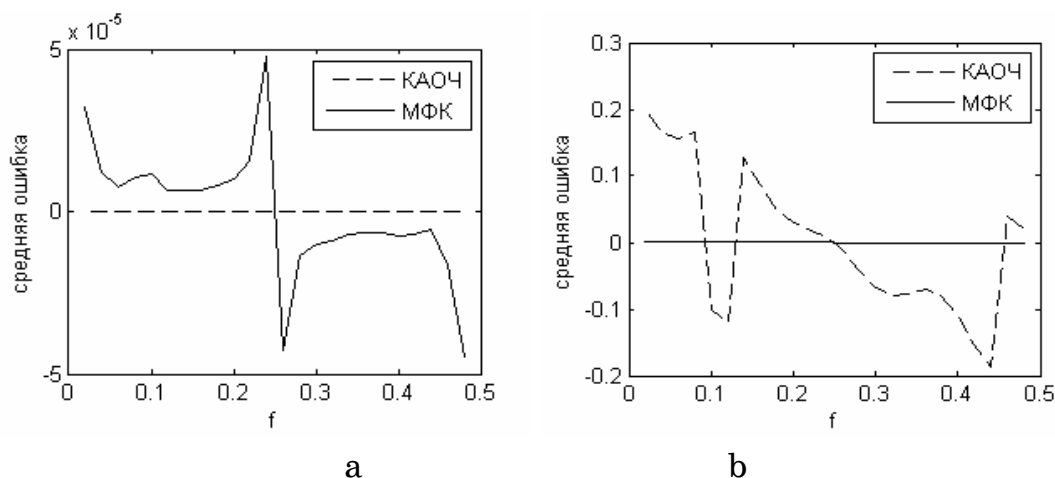


Рисунок 3 - Зависимость ошибки определения частоты сигнала от истинной частоты с помощью квазиоптимального алгоритма оценки частоты (КАОЧ) и минимизации функционала квазидлительности с помощью генетических алгоритмов (МФК). Расстояние между выбросами больше двух отсчетов (а), равно двум (b)

Добавим к исходному сигналу один выброс $y_6 = 10$, а так же гауссовский шум с СКВ 0.01. Усреднение значений оценки частоты было проведено по десяти реализациям. Средняя и средняя квадратичная ошибки приведены на рис. 4.

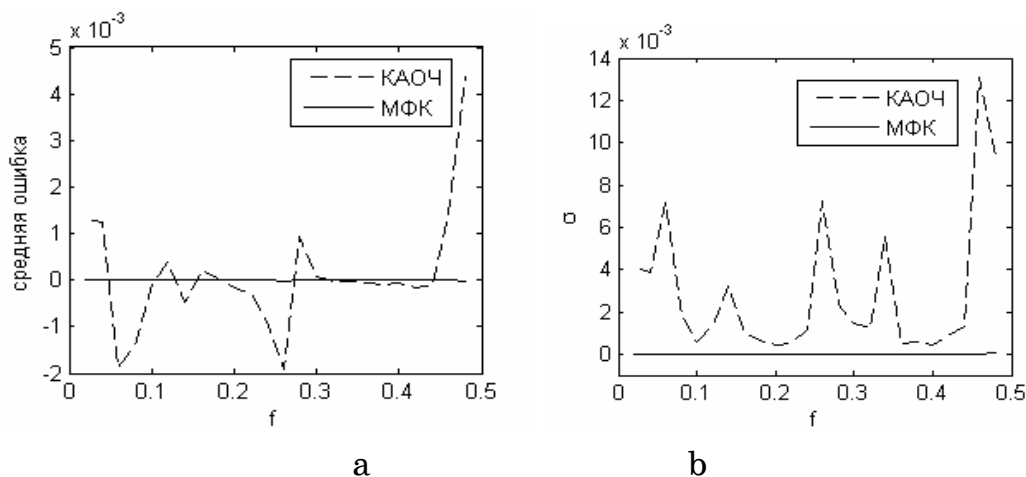


Рисунок 4 - Зависимость средней ошибки (а) и средней квадратичной ошибки (b) определения частоты сигнала от истинной частоты с помощью квазиоптимального алгоритма оценки частоты (КАОЧ) и минимизации функционала квазидлительности с помощью генетических алгоритмов (МФК)

Как видно, даже при небольшом шуме определение частоты сигнала, искаженного одним выбросом, с помощью квазиоптимально-

го алгоритма оценки частоты приводит к некорректным результатам. В то же время минимизация функционала правдоподобия дает пренебрежимо малую ошибку.

К недостаткам метода основанного на минимизации функционала квазидлительности следует отнести значительные требования к вычислительным ресурсам.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Разработанный метод минимизации функционала квазидлительности с помощью генетических алгоритмов позволяет определить частоту синусоидального сигнала искаженного смесью импульсных помех и гауссовского шума. В дальнейших исследованиях следует исследовать метод для нахождения частот сигнала состоящего из двух и более гармонических компонент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дробахин О.О. Идентификация параметров модели в виде суммы экспоненциальных функций при помощи метода Прони./ О. О. Дробахин // Автометрия. – 1989. - № 4, - С. 36-42.
2. Hua Yingbo. Matrix pencil method for estimating parameters of exponentially damped/undamped sinusoids in noise. /Yingbo Hua, Tapan K. Sarkar// IEEE Transactions on acoustics speech and signal processing. - Vol 38 NO. 5. - May 1990
3. Прокопенко І. Г. Квазіоптимальна оцінка частоти гармонічного сигналу на обмеженому інтервалі спостереження./ І. Г. Прокопенко, І. П. Омельчук // Електроніка та системи управління. – 2009. - №1(19), С. 39-45.
4. Вовк С. М. Метод минимума длительности для восстановления финитных сигналов./ С. М. Вовк, В. Ф. Борулько// Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1991. – Т. 34, №8 – С. 66-69
5. Haupt, Randy L. Practical Genetic Algorithms / Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt – 2nd ed. // "A Wiley-Interscience publication". – 2004. – 272 p.

А.В. Кошулян, В.П. Малайчук

СИНГУЛЯРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЯДОВ

Представлен модифицированный алгоритм для сингулярного спектрального анализа замкнутых пространственных рядов. Исследована работа алгоритма на измерениях остаточных напряжений железнодорожных колес и измерениях напряженности магнитного поля сварных швов, которые представляют собой замкнутые пространственные ряды.

Ключевые слова: сингулярный спектральный анализ, SSA-Гусеница, замкнутый ряд

Постановка задачи

Одним из методов анализа рядов является сингулярный спектральный метод известный под названием "SSA- Гусеница". Данный алгоритм успешно применяется для анализа временных рядов. Его суть заключается в следующем. Для анализа временного ряда выбирается целый параметр L , называемый "длина окна". Затем на основе ряда строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L+1)$ -ю и т.д. Следующий шаг - это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов - собственного и факторного. Затем полученные матрицы группируются и суммируются. После процедуры диагонального усреднения от результирующих матриц переходят к рядам. Каждый такой ряд будет содержать аддитивную составляющую исходного ряда, например, тренд, периодику, шум и т.п. Таким образом исходный ряд раскладывается на сумму элементарных рядов, что позволяет выделить ряды с интересующими исследователя составляющими исходного ряда[1][2].

Под замкнутым вещественным рядом длины N будем понимать ряд вещественных чисел $x_1, x_2, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots, x_N; j = [1, N], j \in Z, N \in Z$;

$x_j \in R$, где после элемента x_N , снова следует элемент x_1 , что замыкает ряд. Таким образом, к любому члену ряда от заданного можно перейти двумя способами, либо через правый либо через левый от него элемент. Вещественные ряды с подобными свойствами на практике получаются при измерении параметров пространственных объектов. Например, в неразрушающем контроле для оценки качества используются измерения напряженности магнитного поля рассеяния в области сварных швов. Так если это, например, сварочное соединения двух труб, то полученные измерения напряженности по окружности сварного шва будут обладать описанным выше свойством. Еще один пример, который используется для демонстрации рассматриваемого алгоритма - это ультразвуковые измерения остаточных напряжений по окружности железнодорожных колес. Свойство замкнутости может быть приписано ряду, когда связь между первыми и последними элементами ряда присутствует на уровне его структуры, например, когда при подсчете коэффициента автокорреляции порядка $r(1,2)$ может быть учтена связь между первым и последним элементом такого ряда, т.е. соответствующее скалярное произведение будет иметь вид $R(1,2) = x_1x_2 + x_2x_3 + \dots + x_jx_{j+1} + \dots + x_{N-1}x_N + x_Nx_1$, т.е. появился один добавочный член x_Nx_1 , учитывающий связь между первым и последним элементом ряда. При подсчете коэффициентов автокорреляции более высокого порядка количество таких добавочных членов увеличивается, например при подсчете коэффициента $r(1,3)$ появляется уже два добавочных члена $R(1,3) = x_1x_3 + x_2x_4 + \dots + x_jx_{j+2} + \dots + x_{N-2}x_N + x_{N-1}x_1 + x_Nx_2$. При этом термины "первый" и "последний" член ряда, в данном случае являются относительными, и не имеет значение какой из членов, считать первым, а какой последним. В этом и заключается основное отличие рассматриваемых замкнутых пространственных рядов от временных рядов, либо пространственных рядов, не обладающих указанным свойством замкнутости, например измерений линейно-протяженных объектов.

Описанный базовый алгоритм сингулярного спектрального анализа при большой длине окна L дает несколько неожиданные результаты при анализе рядов, которые обладают описанным свойством замкнутости. На рис.1.а в полярной системе координат представлены измерения остаточных напряжений (МПа) железнодорожного колеса

(всего $N = 25$ измерений) и с помощью базового алгоритма получена восстановленная компонента ряда по первому (максимальному) сингулярному числу. Аналогично на рис.1.б представлены измерения напряженности магнитного поля рассеяния (А/м) по окружности сварного соединения патрубка с трубой (всего $N = 74$ измерений). Длина окна L в каждом случае выбиралась максимальной и равной величине $N/2$ округленной вниз, что согласно [1] обеспечивает наиболее детальное разложение исходного ряда.

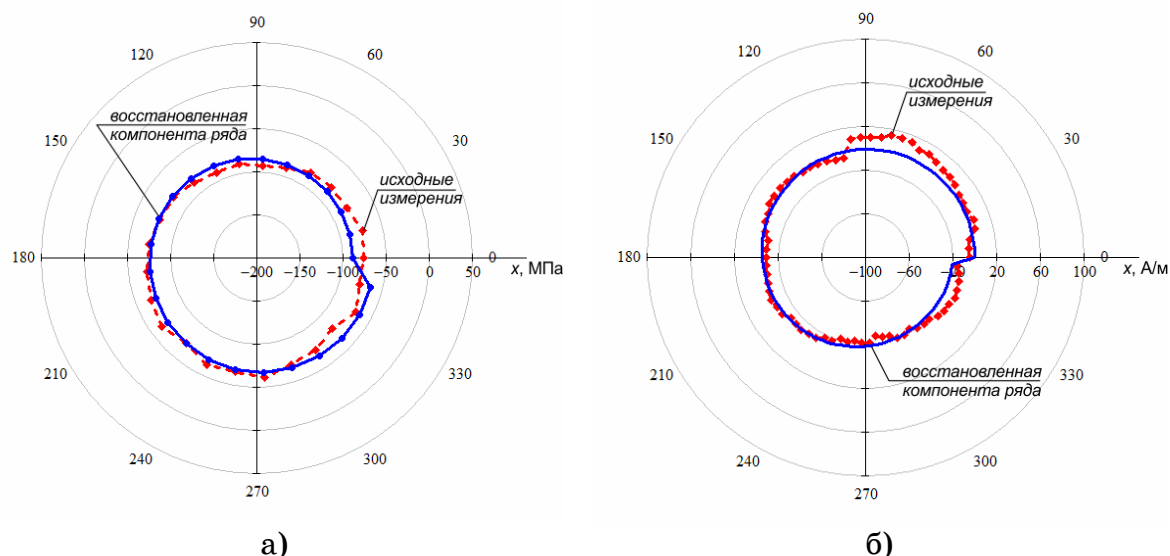


Рисунок 1 - Исходные измерения параметров пространственных объектов и ряд восстановленный по 1-му (максимальному) сингулярному числу с помощью базового алгоритма:

- а) измерения остаточных напряжений железнодорожного колеса;
- б) измерения напряженности магнитного поля сварного соединения трубы с патрубком

По рисунку 1 можно заметить, что в области перехода от точки N к точке 1 присутствует не обоснованный исходным рядом скачок. По анализу около полусотни рядов измерений данных объектов было обнаружено, что подобный скачек, если существует, то только в области перехода от точки N к точке 1, что не может быть обусловлено структурой самого ряда: номер точки измерения, является случайным по своей природе, поскольку сами позиции измерений никак не привязаны к объектам измерений, и номер первого измерения выбирался произвольно для каждого объекта. Также следует заметить, что при такой большой длине окна, обеспечивающей детальное разложения исходного ряда, наличие скачков в ряде, восстановленном по максимальному сингулярному числу, маловероятно, т.к. такой ряд

должен содержать только медленно меняющиеся компоненты [1]. Избежать скачка в восстановленном ряде можно либо уменьшая размер окна L и соответственно получая менее детальное разложение исходного ряда либо путем модификации базового алгоритма, с учетом специфики рассматриваемых рядов.

Модификация базового алгоритма

Модификация базового алгоритма направлена на то, чтобы учесть замкнутость исходного ряда. В базовом алгоритме определяется сингулярное разложение матрицы $S = XX^T$, где X - траекторная матрица составленная из исходного ряда

$$S = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_K \\ x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{K+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \cdots & x_{K+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & x_{L+2} & \cdots & x_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_L \\ x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{L+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \cdots & x_{L+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_K & x_{K+1} & x_{K+2} & \cdots & x_N \end{pmatrix},$$

где $K=N-L+1$. Каждый элемент матрицы S представляет собой скалярное произведение элементов исходного ряда, т.е. по сути частичные ненормированные ковариации - $R^*(i,j) = s_{i,j} = x_i x_j$ или скалярное произведение строк траекторной матрицы. Таким образом базовый алгоритм не учитывает возможные для замкнутых рядов ковариации, включающие добавочные члены, вроде $x_{N-1}x_1$ или x_Nx_2 . Данная информация может быть учтена, если модифицировать базовый алгоритм составления траекторной матрицы и алгоритм диагонального усреднения.

В модификации базового алгоритма предлагается для выбранной длины окна L исходный ряд $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N$ представить в виде последовательности $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N, x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N$, после чего по стандартному алгоритму составить траекторную матрицу для $L \leq N/2$. Полученная траекторная матрица размером $L \times K$, $K=2N-L+1$, примет вид

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_L & x_{L+1} & \cdots & x_{N-L+1} & x_{N-L+2} & \cdots & x_N & x_1 & x_2 & \cdots & x_{N-L+1} \\ x_2 & x_3 & \cdots & x_{L+1} & x_{L+2} & \cdots & x_{N-L+2} & x_{N-L+3} & \cdots & x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_{N-L+2} \\ x_3 & x_4 & \cdots & x_{L+2} & x_{L+3} & \cdots & x_{N-L+3} & x_{N-L+4} & \cdots & x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{N-L+3} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{L-1} & x_L & \cdots & x_{2L-2} & x_{2L-1} & \cdots & x_{N-1} & x_N & \cdots & x_{L-2} & x_{L-1} & x_L & \cdots & x_{N-1} \\ x_L & x_{L+1} & \cdots & x_{2L-1} & x_{2L} & \cdots & x_N & x_1 & \cdots & x_{L-1} & x_L & x_{L+1} & \cdots & x_N \end{pmatrix}$$

Каждый элемент матрицы $S = XX^T$ представляет собой скалярное произведение строк матрицы X . Таким образом добавочные коэффициенты ковариации, как можно видеть, будут учтены.

Модифицированная процедура диагонального усреднения предназначена для перевода в ряд матрицы $\tilde{Y}$, которая представляет собой суммы элементарных матриц сингулярного разложения. Каждая такая матрица имеет такой же размер как и матрица X , а именно L строк и $K=2N-L+1$ столбцов. Каждый элемент ряда размером N получается усреднением N побочных диагоналей размером L : первую диагональ образуют элементы матрицы $y_{L, N/2-L+2}, \dots, y_{L-i, N/2-L+2+i}, \dots, y_{1, N/2+1}$, последнюю $y_{L, 3N/2-L+1}, \dots, y_{L-i, 3N/2-L+1+i}, \dots, y_{1, 3N/2}$, $i \in Z$. Таким образом в ряд переводится только центральная часть матрицы $\tilde{Y}$. Формула для перевода матрицы $\tilde{Y}$ в ряд $\tilde{x}$

$$\tilde{x}_j = \begin{cases} \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{y}_{i, j+N-i+1}, & \text{если } 1 \leq j < \frac{N}{2} + 1, \\ \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{y}_{i, j-i+1}, & \text{если } \frac{N}{2} + 1 \leq j \leq N, \\ j \in [1, N], j \in Z, N \in Z; \end{cases}$$

где отношение $\frac{N}{2}$ округляется вниз.

На рис.2, показаны результаты разложения модифицированным алгоритмом тех же рядов, что использовались для рис.1. Как видно в области перехода от точки N к точке 1 скачки, как в случае с базовым алгоритмом, отсутствуют.

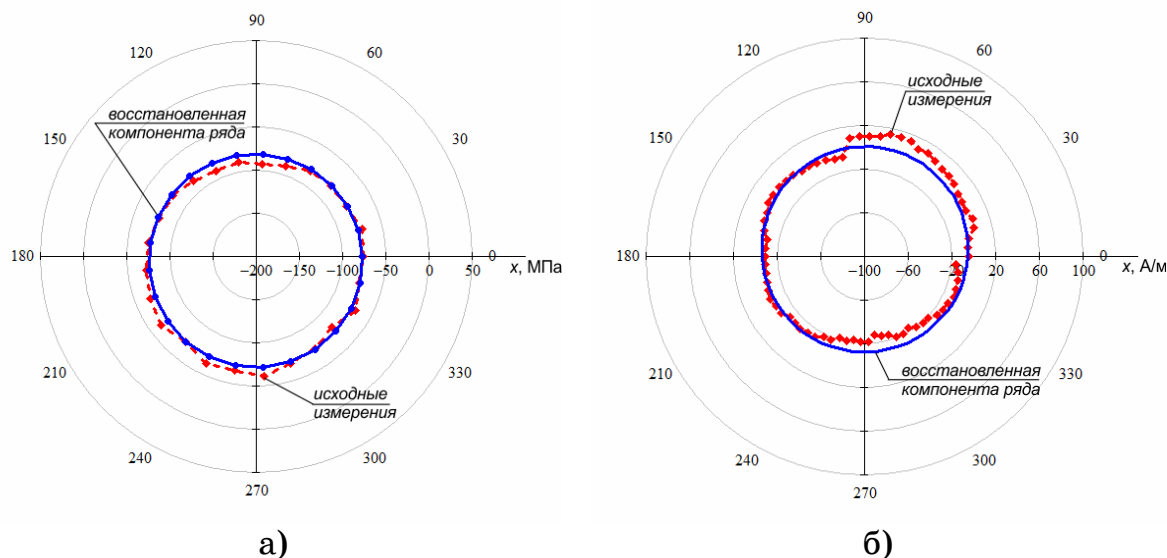


Рисунок 2 - Исходные измерения параметров пространственных объектов и ряд восстановленный по 1-му (максимальному) сингулярному числу с помощью модифицированного алгоритма:

- а) измерения остаточных напряжений железнодорожного колеса;
 б) измерения напряженности магнитного поля сварного соединения трубы с патрубком

Выводы

1. Базовый алгоритм сингулярного спектрального анализа "SSA-Гусеница", предназначенный для анализа временных рядов, может быть модифицирован с учетом специфики замкнутых пространственных рядов и использован для разложения их на аддитивные замкнутые составляющие.

2. Дальнейшие исследования направлены на изучение возможностей предложенного алгоритма для анализа нестационарных циклических марковских процессов, содержащих периодические, трендовые и шумовые составляющие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голяндина Н.Э. Метод "Гусеница"-SSA: анализ временных рядов: Учебное пособие/ Голяндина Н.Э. -СПб.:Издательство СПбГУ, 2004. - 76с.
2. Крянев В.Г. Математические методы обработки неопределенных данных: Монография /Крянев В.Г., Лукин Г.В. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 216с.

Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, Э. Кайали

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ QOS В СЕТЯХ MPLS С УЧЕТОМ САМОПОДОБИЯ ТРАФИКА

Аннотация. В работе методом имитационного моделирования проведено исследование механизмов повышения QoS и методов управления трафиком в сетях MPLS, функционирующих в условиях самоподобного трафика.

Ключевые слова: качество обслуживания, мультисервисные системы, самоподобие, управление трафиком

Актуальность задачи

В настоящее время вместе с планомерным увеличением скоростей передачи данных в телекоммуникациях увеличивается доля интерактивного трафика, крайне чувствительного к параметрам среды транспортировки. Важными параметрами, характеризующими качество обслуживания (Quality of Service - QoS), являются: задержка доставки, дисперсия времени доставки пакета, вероятность его потери, например, из-за переполнения буферов в транзитных сетевых устройствах. Поэтому задача обеспечения QoS становится все более актуальной и для ее решения в сети должны быть реализованы механизмы, гарантирующие нужное качество обслуживания. Целью данной работы является исследование механизмов повышения QoS и методов управления трафиком в сетях MPLS, функционирующих в условиях самоподобного трафика.

Основные механизмы обеспечения QoS

QoS-маршрутизация (QoS routing). Механизм выбора пути пакетов, учитывающий требования потоков трафика к качеству обслуживания (производительность, задержка, стоимость и т.д.) и осуществляющий выбор маршрута в зависимости от наличия сетевых ресурсов.

Резервирование ресурсов (Resource reservation). Механизм, базирующийся на протоколе RSVP, предоставления в IP-сетях услуг эмуляции выделенных каналов; позволяет системам запрашивать га-

рантированную пропускную способность канала, предсказуемую задержку, максимальный уровень потерь.

Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance). Механизмы поддерживают уровень нагрузки в сети ниже пропускной способности сети (уменьшение трафика, поступающего в сеть).

Маркировка пакетов (Packet marking). Пакеты могут быть маркированы в соответствии с определенным классом обслуживания. Маркировка обычно производится во входном узле, где в специальное поле заголовка (Type of Service в заголовке IP или DS-байт в заголовке DiffServ) вводится определенное значение.

Организация и планирование очередей (Queuing and scheduling). Цель механизмов этой группы – выбор пакетов для передачи из буфера в канал. Основан на ряде схем формирования нескольких очередей, приоритетного обслуживания, на механизме взвешенной справедливой буферизации, на классификации потоков по классу обслуживания.

Классификация трафика (Traffic classification). Механизм классификации пакетов на входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) - выделение пакетов одного потока, характеризующего общими требованиями к качеству обслуживания. Затем трафик подвергается процедуре нормирования (измерение параметров трафика и сравнение результатов измерений с параметрами, оговоренными в контракте о трафике, известном как соглашение об уровне обслуживания).

Управление характеристиками трафика (Traffic shaping). Механизм предполагает контроль скорости и объема потоков, поступающих на вход сети. При прохождении через специальные формирующие буферы уменьшается пачечность исходного трафика, и его характеристики становятся более предсказуемыми.

Сети MPLS

В настоящее время эффективным решением задачи обеспечения качества обслуживания сетей является технология многопротокольной коммутации пакетов MPLS (Multiprotocol Label Switching Protocol) [1-3]. Решение с использованием MPLS-сети в качестве основы операторской инфраструктуры имеют экономические и технические преимущества, в том числе: исключение необходимости строительства и поддержки разных типов сетей; экономически выгодное

использование физических каналов связи между узлами оператора за счет передачи голосовых данных, данных клиентских VPN и данных Интернета через единую сеть IP/MPLS; возможность использования любых существующих сетей для магистральной и доступа клиентов; расширение списка операторских сервисов, предоставляемых клиентам; простота настройки и эксплуатации сети; высокая масштабируемость сети и надежность решения; низкая требовательность к ресурсам оборудования. MPLS улучшает службы, которые могут предоставляться IP-сетями, обеспечивая управление трафиком (Traffic Engineering - TE), VPN и QoS. В основе технологии MPLS лежит принцип обмена меток. Каждый маршрут таблицы маршрутизации ассоциируется с определенной меткой фиксированного формата, уникальной для маршрутизатора MPLS-сети. Любой передаваемый пакет ассоциируется с тем или иным классом сетевого уровня FEC (Forwarding Equivalence Class), каждый из которых идентифицируется определенной меткой. Значение метки уникально лишь для участка пути между соседними узлами сети MPLS, которые называются также маршрутизаторами, коммутирующими по меткам LSR (Label Switching Router). В сети MPLS заголовок пакета анализируется граничным маршрутизатором. Он же и определяет для пакета наилучший маршрут в сети и помечает пакет меткой, идентифицирующей этот маршрут. Все остальные маршрутизаторы в сети MPLS считывают только метку и направляют пакет по указанному маршруту. Последовательность маршрутизаторов, через которые проходят пакеты, принадлежащие одному FEC, образует виртуальный путь LSP (Label Switching Path), коммутируемый по меткам. При выходе из MPLS-облака пакет доставляется стандартной IP-маршрутизацией.

Traffic Engineering (TE) – это возможность управления направлением прохождения трафика с целью выполнения определенных условий (резервирование каналов, распределение загрузки сети, балансировка и предотвращение перегрузок). Ключевые характеристики управления трафиком относятся к следующим категориям: ориентированные на трафик, или ориентированные на ресурсы. В модели процесса управления трафиком инженер трафика (система автоматизации) включает набор взаимосвязанных сетевых элементов, систему мониторинга состояния сети и набор средств управления конфигурацией; формулирует политику управления, отслеживает состояние се-

ти посредством системы мониторинга и характеристик трафика и предпринимает управляющие действия, чтобы перевести сеть в требуемое состояние, в соответствии с политикой управления. Это может быть осуществлено с помощью действий, предпринимаемых как отклик на текущее состояние сети, или превентивно, используя прогнозирование состояния и тенденции и предпринимая действия, предотвращающие нежелательные будущие состояния. В идеале управляющие действия должны включать: модификацию параметров управления трафиком, модификацию параметров, связанных с маршрутизацией, и модификацию атрибутов и констант, связанных с ресурсами.

Самоподобие в телекоммуникационных сетях

Современные телекоммуникационные сети построены на основе усреднения потоков данных. Согласно классической теории массового обслуживания, множество потоков данных со случайными вариациями распределений вероятностей дадут в результате некий усредненный сглаженный трафик. Однако этот подход не действует в современных сетях, для которых характерны мощные пиковые выбросы.

Многочисленные исследования процессов в информационных сетях показали, что классическая пуассоновская модель трафика, которая использовалась при проектировке сетевых протоколов, не отражает реальной действительности: данные реального сетевого трафика обладают свойством масштабной инвариантности (самоподобием). Причина такого эффекта заключается в особенностях распределения файлов по серверам, их размерах, в типичном поведении пользователей. Оказалось, что изначально не проявляющие свойств самоподобия потоки данных, пройдя обработку на узловых серверах и активных сетевых элементах, начинают подавать ярко выраженные признаки самоподобия.

Стохастический процесс $X(t)$ является статистически самоподобным с параметром самоподобия H (показателем Херста), если процесс $a^{-H}X(at)$ обладает теми же статистическими характеристиками второго порядка, что и $X(t)$. Самоподобный трафик имеет особую структуру, сохраняющуюся на многих масштабах – в реализации всегда присутствует некоторое количество очень больших выбросов при относительно небольшом среднем уровне трафика. Эти выбросы вызывают значительные задержки и потери пакетов, даже когда сум-

марная потребность всех потоков далека от максимально допустимых значений [4,5].

С появлением MPLS-сетей происходит их изучение с точки зрения влияния самоподобных свойств трафика на качество обслуживания сети. В работах [6,7] проведены исследования влияния степени самоподобия трафика на сходимость реальной сети при управлении трафиком с различным QoS. В работах [8, 9] рассмотрены зависимости характеристик QoS, такие как задержки, джиттер и потери пакетов от параметров самоподобия входящего трафика. Показано, что основное влияние на ухудшение характеристик QoS оказывают большие значения показателя Херста, как степени самоподобия, и коэффициента дисперсии, определяющего уровень всплесков трафика.

В настоящее время рассматривается несколько подходов, направленных на уменьшение влияния самоподобности потоков в MPLS-сетях. Ряд работ посвящен методам управления трафиком в сетях MPLS с динамически изменяющимися весами путей, зависящими от степени самоподобия входного потока; представлены результаты имитационного моделирования в малых сетях [10]. При другом подходе, представленном в [11,12], предложен метод маркировки потоков в FEC, учитывающий значения показателя Херста и коэффициента дисперсии. Определение уровня всплесков также может помочь при маркировке потоков трафика, например, в случае, когда более приоритетный трафик в течение долгого времени препятствует прохождению потоков с более низким приоритетом. Кроме того, оценка коэффициента дисперсии может быть использована для динамического определения приоритетов трафиков. В работе [12] предлагается подход к сокращению количества запасной пропускной способности и общей стоимости сети. При определении пути для передачи трафика и необходимой пропускной способности учитываются параметры самоподобного трафика. Необходимая пропускная способность канала изменяется в зависимости от значений показателя Херста и коэффициента дисперсии и количество зарезервированной пропускной способности каналов уменьшается.

Модели самоподобного трафика и имитационное моделирование

Во всех рассмотренных подходах большую роль играет правильно подобранная модель нагрузки, учитывающая основные характеристики самоподобного потока. Однако в настоящее время не суще-

ствуется универсальной модели самоподобного трафика. Основной моделью, которая используется большинством исследователей с небольшими модификациями, является фрактальный броуновский трафик, предложенный в [13]. Здесь агрегированный трафик рассматривается как случайный процесс, значениями которого является суммарный объем пакетов, поступивших от источника на t -м интервале времени. Эта модель имеют ряд недостатков, в том числе недостаточную согласованность со свойствами реальных трафиков, в частности, высоким уровнем всплесков.

Модель трафика, предложенная в работе [14], представляет собой самоподобный случайный процесс с дискретным временем, основой которого является экспоненциальное преобразование фрактального гауссовского шума. Параметрами модели являются оценки интенсивности, показателя Херста и коэффициента дисперсии входного трафика. Использование предложенной модели позволяет рассчитывать объем буферной памяти, необходимый для прохождения трафика через канал сети.

В данной работе рассматривается управление самоподобным трафиком в сетях MPLS. Исследования проводились с помощью сетевого симулятора openSimMPLS, который позволяет использовать различные методы TE. Модельные реализации трафика генерировались на основе вышеописанной математической модели. Посредством системы мониторинга определялись характеристики проходящего трафика и вычислялась полоса пропускания канала. При возникновении определенных изменений характера трафика или необходимой полосы пропускания, можно изменять весовые коэффициенты каналов для маршрутизации. Кроме того, в зависимости от заданного уровня QoS, можно перемаршрутизировать либо весь проходящий трафик, либо некоторую его часть. Перемаршрутизация в сетях MPLS дает возможность слияния виртуальных каналов, что позволяет уменьшить их число и количество изменений в соединениях. Также, после изучения характера проходящего трафика, можно изменять класс FEC трафика, т.е. можно назначать метки MPLS пакетам в зависимости от различных параметров трафика, что соответственно повлечет за собой его перемаршрутизацию. Соответственно, можно объединить оба эти подхода; данные исследования будут произведены при дальнейшей работе.

Выводы

В работе рассмотрены существующие механизмы повышения QoS и методы управления трафиком в сетях MPLS. С помощью имитационного моделирования проверены возможности использования данных методов при самоподобной нагрузке в сети. Результаты моделирования показали, что при внедрении описанных методов качество обслуживания повышается. Дальнейшие исследования будут посвящены количественному анализу характеристик QoS в зависимости от параметров трафика и методов TE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемешко О.В. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х частинах. Ч.1 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, В.В. Поповський та ін. // Харків: ТОВ "Компанія СМІТ". - 2010. - 470 с.
2. Олвейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS / Вивек Олвейн // Cisco Press. - 2004. - 480 с.
3. Hussain I. Fault-Tolerant IP and MPLS Networks / Iftekhar Hussain // Cisco Press. - 2005. 336 с.
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс // СПб.: Питер. - 2003. - 783 с.
5. Sheluhin O. I. Similar processes in telecommunications / O. I. Sheluhin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin // John Wiley & Sons Ltd, England. - 2007. - 310 p.
6. L'opez V. A Bayesian decision theory approach for the techno-economic analysis of an all-optical router / V'ictor L'opez, Jos'e Alberto Hern'andez, Javier Aracil, Juan P. Fern'andez Palacios and r' Oscar Gonz'alez de Dios // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking Vol. 52 Issue 10. Inc. New York, NY, USA. -2008. - P.1916-1926.
7. Casellas R. Packet Based Load Sharing Schemes in MPLS networks // Ramon Casellas, Jean Louis Rougier, Daniel Kohan // Proceedings of the 3rd international IFIP/ACM Latin American conference on Networking. Paris. - 2002. - P.18-28.
8. De Carvalho. An Experimental Testbed for Evaluation Topics in Converged Networks / De Carvalho, H. Abdalla JR., A. M. Soares, P. Sol'ns. Barreto, P. Tarchetti, R. Lambert, G. Amvame-nze // Departamento de Engenharia El'etrica, Universidade de Bras'ilia, Brazil. - 2005. - P.503-509.
9. P. Barreto. A Traffic Characterization Procedure for Multimedia Applications in Converged Networks / Priscilla A. S. M. Barreto, Paulo H.P. de Carvalho, Jos'e A. M. Soares, Humberto AbdallaJ'rnior // Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. Washington, DC, USA. - 2005. - P.153-160.
10. Vargas-Rosales C. Routing with Wavelet-Based Self-Similarity Estimation / Cesar Vargas-Rosales, Luis J. Manzanero // Computaci'yn y Sistemas. vol.8, n.2. Monterrey, Mexico. - 2004. -.P. 119-131.

11. De Carvalho. Analysis of the influence of self-similar traffic in the performance of real time applications / P. H. P. de Carvalho, H. Abdalla Jr., A. M. Soares, P. Solns Barreto, P. Tarchetti // Department of Electrical Engineering, University of Brasilia. – 2005. – P.480-485.
12. Kyu-Seek Sohn. A Distributed LSP Scheme to Reduce Spare Bandwidth Demand in MPLS Networks / Kyu-Seek Sohn, Seung Yeob Nam, Dan Keun Sung // Communications, IEEE, Vol. 54, Issue:7. – 2006. – P.1277-1288.
13. Norros I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks / I. Norros // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1995. – № 13(6). – P. 953–962.
14. Кириченко Л.О. Об одном методе моделирования самоподобного стохастического процесса / Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, Ж.В. Дейнеко, А.А. Замуло // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна №890. –В. 13. Харків. - 2010. - С.53-63.

Т.В. Ковалюк, Д.С. Іващенко, О.І. Шумар
**ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ЗАГРОЗИ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Аннотация. В статье рассмотрена проблема предоставления пользователям информации об оптимальном комплекте средств экологической защиты, которая гарантирует безопасность пребывания в заданном регионе. Описанная постановка задачи выбора оптимального комплекта средств защиты человека от влияния экологических факторов. Рассмотренный метод, что позволяет на основе информации о доступных средствах защиты, существующих нормах действия вредных факторов на человека и данных об экологической обстановке в заданном регионе, получить рекомендации по обеспечению безопасности населения.

Ключевые слова - экологические факторы, средства защиты от экологических факторов, генетический алгоритм, метод веток и границь

Вступ

Україна на карті ООН через поганий стан довкілля зафарбована чорним кольором. Це колір країни, де мешкає вимираюча нація. Україна займає перше місце у світі по темпах вимирання населення [1]. Не останню роль в такій шокуючій статистиці грають екологічні проблеми.

Існуючі екологічні проблеми актуальні для людства і підвищення рівня екологічної інформованості населення в контексті побудови інформаційного суспільства вимагають створення нових механізмів організації, зберігання, поширення і актуалізації інформаційних ресурсів екологічної спрямованості.

Однією з важливих функцій проекту EcoSpotter, що розглядається, є надання користувачам рекомендацій щодо зменшення дії шкідливих чинників довкілля на людину. Актуальним є завдання розробки програмних засобів, що надають людині рекомендації щодо забезпечення безпеки її життєдіяльності відповідно до даних

про існуючу екологічну ситуацію, норми дії небезпечних і шкідливих для життя людини екологічних факторів і доступні засоби захисту.

1 Стан проблеми екологічної інформованості та захисту населення

Аналіз доступних населенню інформаційних ресурсів і сервісів, що надають дані про екологічну ситуацію, показує, що отримання достовірної та оперативної інформації про стан екологічного забруднення конкретного регіону пов'язане з великими труднощами.

Інформаційний ресурс Environmental Interactive Maps [3] надає список інтерактивних екологічних карт Європи. Найповніше представлені карти забруднень водоймищ і ґрунтів. У меншій мірі подані дані про стан озонового шару, забруднення повітря різними видами відходів, шумове забруднення, а також про зони рекреації. Недоліком є труднощі в пошуку потрібних даних.

Портал Baltic GIS Portal [4] подає дані про екологічну ситуацію в районі Балтійського моря. Користувачі можуть отримати відомості про кліматичні дані, про рослинність, тваринний світ і заповідники, про різні види забруднення. З точки зору зручності використання інтерактивні карти значно поступаються сучасним картографічним сервісам (Google Earth, Bing Maps та іншим).

Проект GSensus Каліфорнійського університету є спробою розширити картографічний сервіс Google Earth даними про екологічну ситуацію. Проект знаходиться на стадії розробки і не підтримується компанією Google.

Розглянувши існуючі інформаційні ресурси, що зображують дані про екологічну ситуацію і параметри довкілля, можна зробити такі висновки: існуючі інформаційні сервіси мають недостатню інтерактивність: дані подані у формі статичних карт, або у вигляді інтерактивних карт із складним і недружнім графічним інтерфейсом і обмеженою функціональністю; існуючі інформаційні сервіси не мають засобів пошуку даних екологічного моніторингу; інформаційні сервіси вимагають виконання тривалої процедури установки і налаштування програмного забезпечення; інформаційні ресурси вузько спеціалізовані за територіальною ознакою і за типом даних, що надаються; інформаційні ресурси не дають рекомендації щодо зменшення дії шкідливих чинників довкілля на людину і способів підвищення екологічної безпеки.

2 Постановка задачі

Метою даної статті є розробка алгоритмічних і програмних засобів інформаційної підтримки прийняття рішень в умовах загрози екологічної безпеки із забезпеченням швидкого і зручного доступу до даних про екологічну ситуацію у заданого регіоні.

Розглянемо математичну модель, що покладена в основу системи прийняття рішень щодо засобів захисту від впливу екологічних факторів. Нехай в заданому регіоні на людину впливає сукупність шкідливих екологічних факторів. Вважається, що забезпечення гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин, встановлених державними стандартами, не шкодить здоров'ю людини. У розпорядженні людини є набір засобів захисту, кожний з яких зменшує дію деяких із шкідливих екологічних факторів певною мірою. Необхідно визначити найбільш доступний набір засобів захисту, який забезпечує безпеку життєдіяльності людини.

Нехай на людину впливає множина F шкідливих екологічних факторів довкілля. Кожний i -й екологічний фактор характеризується мірою f_i впливу на здоров'я людини: $F = \{f_i, i = \overline{1, m}\}$. Нехай, гранично допустимі значення екологічних факторів знаходяться в межах від a_i до b_i згідно з державними санітарними нормами. Отримуємо систему обмежень (1):

$$\begin{cases} a_1 \leq f_1 \leq b_1 \\ a_2 \leq f_2 \leq b_2 \\ \dots \\ a_m \leq f_m \leq b_m \end{cases} \quad (1)$$

У розпорядженні людини є множина $D = \{d_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}$ засобів захисту. Для кожного j -го засобу захисту відомі його вартість $c_j, j = \overline{1, n}$ та міра d_{ij} зменшення негативної дії i -го екологічного фактору $i = \overline{1, m}$ завдяки застосуванню j -го засобу захисту. Тоді, негативний вплив i -го екологічного фактора на людину можна визначити як $f_i - \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j$, де компоненти вектора $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ набувають дискретні значення із діапазону $[0, 1]$ згідно з (2):

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{якщо } j\text{-й засіб захисту застосовує людина} \\ 0, \text{у протилежному випадку} \end{cases} \quad (2)$$

Для визначення найбільш доступних за вартістю засобів захисту людини можна задати цільову функцію у вигляді (3):

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (3)$$

Мінімізація цільової функції (3) здійснюється на множині обмежень (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 \leq f_1 - \sum_{j=1}^n d_{1j} x_j \leq b_1 \\ a_2 \leq f_2 - \sum_{j=1}^n d_{2j} x_j \leq b_2 \\ \dots \\ a_m \leq f_m - \sum_{j=1}^n d_{mj} x_j \leq b_m \end{array} \right. \quad (4)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, n}$$

Задача (2), (3), (4) є задачею булевого програмування. Розв'язок задачі полягає у визначенні вектора $X = \{x_j \mid x_j \in [0, 1], j = \overline{1, n}\}$ при мінімізації (3) на множині обмежень (4).

Інколи гранично допустимі значення екологічних факторів обмежені тільки верхньою межею. Наприклад, рівень радіації має бути не більш за 12мкР/годину. Для урахування змін в значеннях параметрів моделі та їх діапазоні досить покласти в обмеженнях (4) нескінченно малим (для обмеження знизу) $-\infty \leq f_i \leq b_i, i \in I, I \subset N, N = \{1, \dots, n\}$ або нескінченно великим (для обмеження згори) $a_i \leq f_i \leq \infty, i \in I', I' \subset N, N = \{1, \dots, n\}$. Наприклад, у випадку обмеження на радіаційний фон маємо $-\infty \leq f_1 \leq 12$. У випадку, якщо деякі із засобів захисту недоступні, досить покласти їх вартість рівної нескінченності, наприклад, $c_j = \infty, j \in J, J \subset M, M = \{1, \dots, m\}$. Таким чином забезпечується гнучкість моделі.

3 Вибір алгоритмів розв'язання задачі та їх тестування

Задачу можна розв'язати, застосувавши точні або евристичні алгоритми. У роботі проведений аналіз результатів використання генетичного алгоритму (ГА), методу гілок та границь, і динамічного програмування для розв'язання задачі (2) (3) (4). Визначалися оцінки часової складності алгоритмів.

Оскільки генетичний алгоритм в процесі пошуку використовує деяке кодування множини параметрів замість самих параметрів, то

він може ефективно застосовуватися для розв'язання задач дискретної оптимізації. За параметри налаштувань ГА були взяті наступні величини: максимальна кількість ітерацій – 50; імовірність кросовера – 0,9; імовірність мутації – 0,01; розмір популяції – 20; критерій зупинки алгоритму – по досягненню максимальної кількості ітерацій, схема відбору батьківських особин – рулетка в сукупності з елітарним відбором, мутація і кросовер – стандартні одноточечні.

Якщо розв'язки задачі оптимального вибору засобів екологічного захисту подати у вигляді дерева рішень, в якому на кожному рівні здійснювати розгалуження множини розв'язків та визначати оцінку наближення їх до оптимального рішення, очевидна доцільність застосування методу гілок та границь.

Процес вибору засобів захисту можна уявити як покроковий. На кожному кроці здійснюється вибір категорії або комплекту засобів, згодом вибирають певний засіб. За такою схемою розв'язують задачі методом динамічного програмування.

За часом виконання у випадку, коли розмірність задачі мала, і критичною є точність розв'язку, доречно використовувати точні алгоритми, наприклад, метод гілок та границь або та метод динамічного програмування. У задачах більшої розмірності, за умови того, що критичним є час виконання, а не точність, доречно використовувати евристичні методи, такі як генетичний алгоритм.

4 Програмна реалізація системи EcoSpotter

В процесі реалізації поставленого вище завдання розроблена програмна система для отримання необхідної інформації про стан довкілля в місцях дислокації користувачів. Програмна система EcoSpotter включає такі компоненти: сервер бази даних під управлінням MS SQL Server 2008; XML веб-сервіс Microsoft Bing Maps для управління координатами відміток на карті; Microsoft Bing Maps Silverlight SDK компонент реалізує графічний інтерфейс, який дозволяє наносити на географічну карту полігони, геометричні фігури; ASP.NET застосування для створення веб-інтерфейсу; веб-сервер Microsoft IIS для функціонування кінцевого веб-застосування; ExpertSystem-компонент, який розробляє і оцінює можливі альтернативи рішення. Ухвалення рішення зводиться до вибору однієї із запропонованих альтернатив.

Висновок

Авторами проаналізований стан проблеми екологічної інформованості населення та захисту від впливу екологічних факторів, формалізована задача оптимального вибору засобів захисту від негативного впливу екологічних факторів на людину. Задачу сформульовано в термінах булевого програмування. Розглянуті методи розв'язання поставленої задачі та проведено тестування на задачах малої та великої вимірності. Як перспективу подальших досліджень можна відмітити необхідність врахування елементів нечіткої логіки, пов'язаної з відсутністю точних даних про параметри забруднення та засобів захисту, або малою за величиною вибіркою даних. У поєднанні з плагіном Silverlight використання Microsoft Bing Maps дозволило створити застосування, що реалізує сучасні технології server-side логіки та client-side інтерфейсу користувача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Новый рекорд: Украина - первая в мире по темпам вымирания населения. [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://rus.newsru.ua/ukraine/05mar2008/>.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-XII
3. Environmental Interactive Maps [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.eea.europa.eu>
4. Baltic GIS Portal [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.gridano/baltic>
5. Холланд Дж. Генетические алгоритмы / Дж. Холланд // В мире науки. — 1992. — №9 — 10. — С. 32 — 40.
6. Байдачный С.С. Silverlight 4: Создание насыщенных Web-приложений. — М.: Солон-Пресс», 2010 — 288 с.

В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, В.В. Скалозуб,

Ю.В. Доронина

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С УЧЕТОМ БЛОКИРОВОК УСТРОЙСТВ

Аннотация. В статье рассматривается полумарковская модель функционирования укрупненной информационной системы с учетом взаимных блокировок входящих в нее устройств. Определена функция распределения времени, затрачиваемого вторым устройством на сбор информации с учетом его блокировок первым устройством и возможным повторным сбором данных с устройств предварительной обработки.

Ключевые слова: информационная система, устройство сбора данных, устройство обработки данных, полумарковская модель, производительность системы, блокировки устройств

Исследование производительности сложных информационных систем (ИС), например, связанных с манипулированием данными в базах данных и запросами пользователя, целесообразно проводить с учетом блокировок логических или физических устройств, составляющих ИС. Рассматривается ИС, которая содержит два устройства. Устройство 1 (обработки данных при запросе пользователя) работает постоянно, вне зависимости от устройства 2 (сбора данных). Устройство 2 блокируется устройством 1 (ждет момента окончания обслуживания на устройстве 1 и далее оба устройства начинают работать вместе). С вероятностью p устройство 2 работает корректно, а с вероятностью $(1-p)$ устройство сбора данных даст сбой и начнет повторный сбор данных. В момент начала повторного обслуживания оба устройства начинают также работать вместе.

На рисунке 1 представлен граф такой системы.

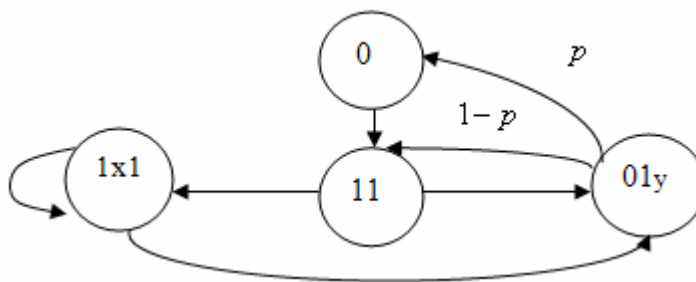


Рисунок 1 - Граф состояний укрупненной информационной системы

Предполагается, что информация с устройства 2 на устройство 1 передается мгновенно, а устройство 1 считается абсолютно надежным, т.к. в системе имеется аппаратное резервирование, устройство 2 может давать сбои. Время обработки данных на некотором устройстве - случайная величина (СВ) α_1 с функцией распределения (ФР) $F_1(t)$. Время сбора данных - СВ α_2 с ФР $F_2(t)$. СВ α_1, α_2 предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), F_2(t)$ существуют плотности $f_1(t), f_2(t)$.

Определим полумарковские ядра $Q(t, x, B)$ ПМВ $\{\xi_n, \theta_n, n \geq 0\}$ в дифференциальной форме[1,2].

$$Q(s, 11, 1_x 1) = f_1(s+x)f_2(s)ds; \quad Q(s, 11, 01_y) = f_1(s)f_2(s+y)ds;$$

$$Q(t, 1_x 1, 1_v 1) = f_2(x-v)1_{x-v}(t)dv; \quad Q(t, 1_x 1, 01_v) = f_2(x+y)1_x(t)dy;$$

$$Q(t, 01_y, 0) = p1_y(t); \quad Q(t, 01_y, 11) = (1-p)1_y(t).$$

$$\bar{1}_x(t) = \begin{cases} 1, t \leq x \\ 0, t > x \end{cases} \quad \bar{1}_y(t) = \begin{cases} 1, t \leq y; \\ 0, t > y; \end{cases} \quad \bar{\Phi}_{1_x 1}(x, t) = \begin{cases} 1, & t \leq x \\ \bar{\Phi}_{1_x 1}(x, t), & t > x \end{cases}.$$

Составляются уравнения марковского восстановления (УМВ) для определения функций распределения $\bar{\Phi}_{11}(t), \bar{\Phi}_{1_x 1}(t), \bar{\Phi}_{01_y}(t)$ времен пребывания в подмножестве $E_+ = \{11, 1_x 1, 01_y\}$. Соответствующие функции распределения находятся с учетом того, что

$$\bar{\Phi}_{11}(t), \bar{\Phi}_{1_x 1}(t), \bar{\Phi}_{01_y}(t), \quad \begin{aligned} \bar{\Phi}_{11}(t) &= 1 - \Phi_{11}(t); \bar{\Phi}_{1_x 1}(x, t) = 1 - \Phi_{1_x 1}(x, t); \\ \bar{\Phi}_{01_y}(y, t) &= 1 - \Phi_{01_y}(y, t). \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\Phi}_{11}(t) &= \int_0^t \int_0^\infty f_1(x+s)f_2(s)\bar{\Phi}_{1x1}(x,t-s)dxds + \int_0^t \int_0^\infty f_1(s)f_2(y+s)\bar{\Phi}_{01y}(y,t-s)dyds + \\ &+ \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t), \quad (1) \\ \bar{\Phi}_{1x1}(x,t) &= \int_0^t \int_0^\infty f_2(x-v)1_{x-v}(ds)\bar{\Phi}_{1v1}(v,t-s)dv + \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y)1_x(ds)\bar{\Phi}_{01y}(y,t-s)dy + \\ &+ \bar{1}_x(t)\bar{F}_2(t), \quad (2) \\ \bar{\Phi}_{01y}(y,t) &= (1-p)\bar{\Phi}_{11}(t-y) + p\bar{1}_y(t) \quad (3) \end{aligned} \right.$$

Рассмотрим первое уравнение (1), первый член которого равен:

$$\int_0^t f_2(s)ds \int_0^{t-s} f_1(s+x)\bar{\Phi}_{1x1}(x,t-s)dx + \int_0^t f_2(s)ds \int_{t-s}^\infty f_1(s+x) \cdot 1 \cdot dx;$$

Второй член выражения равен:

$$\int_0^t f_2(s)ds \int_t^\infty f_1(x')dx' = \bar{F}_1(t) \int_0^t f_2(s)ds = \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t) = \bar{F}_1(t) - \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t);$$

Тогда первый член уравнения (1) принимает вид:

$$\int_0^t f_2(s)ds \int_0^{t-s} f_1(s+x)\bar{\Phi}_{1x1}(x,t-s)dx + \bar{F}_1(t) - \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t);$$

Второй член уравнения (1) с учетом подстановки в него уравнения (3):

$$\begin{aligned} &\int_0^t \int_0^\infty f_1(s)f_2(y+s)[(1-p)\bar{\Phi}_{11}(t-y-s) + p\bar{1}_y(t-s)]dyds = \\ &= \int_0^t \int_0^\infty f_1(s)f_2(y+s)(1-p)\bar{\Phi}_{11}(t-y-s)dyds + \\ &+ \int_0^t \int_0^\infty f_1(s)f_2(y+s)p\bar{1}_y(t-s)dyds \end{aligned} \quad (4)$$

Рассмотрим второй член этого выражения (4)

$$\begin{aligned} &\int_0^t \int_0^\infty f_1(s)f_2(y+s)p\bar{1}_y(t-s)dyds = p \int_0^t \int_0^{t-s} f_1(s)f_2(y+s) \cdot 0 \cdot dyds + \\ &+ p \int_0^t \int_{t-s}^\infty f_1(s)f_2(y+s) \cdot 1 \cdot dyds = p \int_0^t \int_{t-s}^\infty f_1(s)f_2(y+s) \cdot 1 \cdot dyds = \\ &= p \int_0^t f_1(s)ds \int_t^\infty f_2(y')dy' = p\bar{F}_2(t) \int_0^t f_1(s)ds = p\bar{F}_2(t)\bar{F}_1(t) = \\ &= p[\bar{F}_2(t) - \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t)] \end{aligned}$$

Рассмотрим первый член выражения (4)

$$\begin{aligned}
& \int_0^t \int_0^\infty f_1(s) f_2(y+s) (1-p) \bar{\Phi}_{11}(t-y-s) dy ds = \\
& = (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_0^{t-s} f_2(y+s) \bar{\Phi}_{11}(t-(y+s)) dy = \\
& = (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_0^{t-s} f_2(y') \bar{\Phi}_{11}(t-y') dy' = \\
& = (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_s^t f_2(q) \bar{\Phi}_{11}(t-q) dq.
\end{aligned}$$

Тогда второй член уравнения (1) равен

$$\begin{aligned}
& \int_0^t \int_0^\infty f_1(s) f_2(y+s) \bar{\Phi}_{01_y}(y, t-s) dy ds = (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_s^t f_2(q) \bar{\Phi}_{11}(t-q) dq + \\
& + p [\bar{F}_2(t) - \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t)].
\end{aligned}$$

Окончательно уравнение (1) имеет вид:

$$\begin{aligned}
& \bar{\Phi}_{11}(t) = \int_0^t f_2(s) ds \int_0^{t-s} f_1(s+x) \bar{\Phi}_{1_{x1}}(x, t-s) dx + \bar{F}_1(t) - \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t) + \\
& + (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_s^t f_2(q) \bar{\Phi}_{11}(t-q) dq + p [\bar{F}_2(t) - \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t)] + \\
& + \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t) = \int_0^t f_2(s) ds \int_0^{t-s} f_1(s+x) \bar{\Phi}_{1_{x1}}(x, t-s) dx + \bar{F}_1(t) + \\
& + (1-p) \int_0^t f_1(s) ds \int_s^t f_2(q) \bar{\Phi}_{11}(t-q) dq + p [\bar{F}_2(t) - \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t)]
\end{aligned} \tag{5}$$

Рассмотрим второе уравнение (2)

$$\begin{aligned}
& \bar{\Phi}_{1_{x1}}(t) = \int_0^t \int_0^x f_2(x-v) 1_{x-v}(ds) \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-s) dv + \\
& + \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) 1_y(ds) [(1-p) \bar{\Phi}_{11}(t-s-y) + p \bar{1}_y(y, t-s)] dy + \bar{F}_2(t) \bar{1}_x(t);
\end{aligned}$$

Первый член уравнения (2)

$$\int_0^t \int_0^x f_2(x-v) 1_{x-v}(ds) \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-s) dv = \int_0^x f_2(x-v) dv \int_0^t \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-s) 1_{x-v}(ds)$$

С учетом выражения для интеграла Сильтьеса

$\int_0^t \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-s) 1_{x-v}(ds) = \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-x+v)$; первый член уравнения (2) равен:

$$\int_0^t \int_0^x f_2(x-v) 1_{x-v}(ds) \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-s) dv = \int_0^x f_2(x-v) \bar{\Phi}_{1_{v1}}(v, t-x+v) dv$$

Второй член уравнения (2):

$$(1-p) \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) l_x(ds) \bar{\Phi}_{11}(t-y-s) dy + \\ + p \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) l_x(ds) \bar{l}_y(y, t-s) dy. \quad (6)$$

Первый член уравнения (6) имеет вид:

$$(1-p) \int_0^t f_2(x+y) dy \int_0^\infty \bar{\Phi}_{11}(t-y-s) l_x(ds) = \\ = (1-p) \int_0^{t-x} f_2(x+y) \int_0^\infty \bar{\Phi}_{11}(t-x-y) dy = (1-p) \int_x^t f_2(y') \bar{\Phi}_{11}(t-y') dy' = \\ = (1-p) \int_x^t f_2(\tau) \bar{\Phi}_{11}(t-\tau) d\tau$$

Второй член уравнения (6) равен:

$$p \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) l_x(ds) \bar{l}_y(y, t-s) dy = p \int_0^\infty f_2(x+y) dy \int_0^t \bar{l}_y(y, t-s) l_x(ds).$$

Выражение для интеграла Сильтеса имеет вид

$$\int_0^t \bar{l}_y(t-s) l_x(ds) = \bar{l}_y(t-x).$$

Тогда

$$p \int_0^\infty f_2(x+y) dy \int_0^t \bar{l}_y(t-s) l_x(ds) = p \int_0^\infty f_2(x+y) \bar{l}_y(t-x) dy = p \int_{t-x}^\infty f_2(x+y) dy = \\ = p \int_t^\infty f_2(y') dy' = p F(y') \Big|_t^\infty = p \bar{F}_2(t).$$

Второй член уравнения (2) равен:

$$(1-p) \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) l_x(ds) \bar{\Phi}_{11}(t-y-s) dy + \\ + p \int_0^t \int_0^\infty f_2(x+y) l_x(ds) \bar{l}_y(y, t-s) dy = (1-p) \int_x^t f_2(y) \bar{\Phi}_{11}(t-y) dy + p \bar{F}_2(t).$$

Окончательно уравнение (1) имеет вид:

$$\bar{\Phi}_{1x1}(t) = \int_0^x f_2(x-v) \bar{\Phi}_{1v1}(v, t-x+v) dv + (1-p) \int_x^t f_2(y) \bar{\Phi}_{11}(t-y) dy + \\ + p \bar{F}_2(t) + \bar{F}_2(t) \bar{l}_x(t);$$

Учитывая, что $t > x$: $\bar{F}_2(t) \bar{l}_x(t) = 0$. Тогда

$$\bar{\Phi}_{1,1}(t) = \int_0^x f_2(x-v)\bar{\Phi}_{1,1}(v, t-x+v)dv + (1-p)\int_x^t f_2(y)\bar{\Phi}_{1,1}(t-y)dy + p\bar{F}_2(t); \quad (7)$$

Система уравнений (1-3) преобразуется к виду:

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\Phi}_{1,1}(t) &= \int_0^t f_2(s)ds \int_0^{t-s} f_1(s+x)\bar{\Phi}_{1,1}(x, t-s)dx + \bar{F}_1(t) + \\ &+ (1-p)\int_0^t f_1(s)ds \int_s^t f_2(q)\bar{\Phi}_{1,1}(t-q)dq + p[\bar{F}_2(t) - \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t)] \\ \bar{\Phi}_{1,1}(t) &= \int_0^x f_2(x-v)\bar{\Phi}_{1,1}(v, t-x+v)dv + (1-p)\int_x^t f_2(y)\bar{\Phi}_{1,1}(t-y)dy + \\ &+ p\bar{F}_2(t) \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (8), окончательно имеем:

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{1,1}(x, t) &= (1-p) \int_0^{t-x} f_2(x+y)\bar{\Phi}_{1,1}(t-x-y)dy + p\bar{F}_2(t) + \\ &+ (1-p) \int_0^x h_2(x-v)dv \int_0^{t-x} f_2(v+y)\bar{\Phi}_{1,1}(t-x-y)dy + \\ &+ p \int_0^x \bar{F}_2(t-x+v)h_2^{*n}(x-v)dv. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, определена функция распределения времени, затрачиваемого вторым устройством на сбор информации с учетом его блокировок первым устройством и возможным повторным сбором данных. Для решения задачи использован аппарат полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний. Полученные результаты могут быть применены для анализа и проектирования интерактивных ИС, когда при обработке запроса пользователя возможны блокировки устройства сбора данных (или поиска данных в базе) в связи, например, с некорректным запросом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копп В.Я. Моделирование перенастраиваемых автоматизированных производственных систем/ В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, О.П. Чуб. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 232 с.
2. Корольук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем/ В.С. Корольук, А.Ф. Турбин. – Киев: Наук. думка, 1982.-236с.

К.А. Кузнецов, И.В. Мозговая, К.В. Шегеда
**УМЕНЬШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ПРИЗНАКОВ В
ЗАДАЧЕ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ**

Аннотация. Рассматривается проблема выбора информативных генов в задачах медицинской диагностики. Предлагается новый подход к решению поставленной задачи, включающий в себя фильтрацию, локальный поиск в пространстве признаков, и машины опорных векторов в качестве классификаторов. Приводится результат применения предложенного алгоритма к реальным массивам данных.

Ключевые слова. Выбор признаков, бинарная классификация, обработка многомерных данных, интеллектуальный анализ данных

Постановка задачи. В работе рассматривается следующая задача бинарной классификации. Пусть заданы две группы объектов - g_1 и g_2 . Для наблюдения доступна обучающая выборка из $n = n_1 + n_2$ объектов (n_1 из g_1 , и n_2 из g_2). Каждый объект описывается p -мерным вектором вещественных признаков $x = (x_1, \dots, x_p)$. В рассматриваемых нами приложениях $p \gg n$, т. е. существуют незначимые или избыточные признаки, которые усложняют процесс обучения и ведут к неправильной классификации. Целью является построение модели классификации $f(x)$, на наиболее информативных признаках.

Таким образом, исходными данными задачи являются:

1) $G = \{g_1, g_2, \dots, g_p\}$ – множество признаков (генов, степень выраженности которых можно измерять у пациента). При современных технологиях измерения величина $p \geq 50000$.

2) Вещественная матрица X , элементы X_{ij} которой можно интерпретировать как степень выраженности j -го гена у i -го пациента ($i=1, \dots, n$, $j=1, \dots, p$).

3) Бинарный вектор Y , где $Y_i = \{-1, 1\}$ ($i=1, \dots, n$), который представляет собой результат применения некоторого варианта лечения к каждому пациенту.

Считается, что результат лечения целиком определяется генетической предрасположенностью пациентов. Однако, неизвестно ка-

кие именно из генов являются ответственными за результат. Целью задачи является уменьшение количества информативных генов $G_{best} \subseteq G$ и построение модели $Y' = f(X, G_{best})$, с минимальным значением некоторой функции потерь $L(Y, Y')$.

Обзор публикаций. Использование фильтров является наиболее часто используемой методологией в датамайнинге. В [1,2] для выбора признаков использовалась t -статистика и критерий Фишера, а информативными считались гены с наибольшим значением соответствующей статистики. Недостатком этого подхода является тот факт, что отбор осуществляется только на основе знаний об обучающей выборке на стадии препроцессинга и никакая информация о результатах работы алгоритма в учет не берется.

Альтернативой является идея о включении процесса выбора признаков в алгоритм обучения с учителем. Выбор признаков выполняется так, что любые комбинации признаков оцениваются по их эффективности в конкретном алгоритме классификации. В [1] рассматриваются метод Монте Карло и процедура последовательного прямого выбора (stepwise forward selection). В [2] представлен алгоритм, в котором признаки исключаются рекурсивно в процессе обучения последовательности машин опорных векторов. Данные подходы являются трудоемкими из-за включенного перебора признаков. Кроме того, их стабильность обычно ниже, чем у обычных фильтров.

В [3] было предложено использовать логистическую регрессию для выбора признаков и построения классификатора. Для построения классификатора в [4] были рассмотрены окна Парцена, линейный дискриминант Фишера и деревья решений. Т.к. размерность задачи очень высока, был сделан вывод о том, что использование машины опорных векторов является одним из лучших способов решения проблемы.

Целью настоящей работы является построение алгоритма выбора значимых признаков, сочетающего фильтрацию с интеллектуальным перебором признаков на базе машины опорных векторов.

Критерии оценки качества. Для оценки качества классификации модели используется BCR (balanced classification rate):

$$\text{BCR} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T_{\text{NEG}}}{\text{NEG}} + \frac{T_{\text{POS}}}{\text{POS}} \right) \quad (1)$$

где T_{POS} – число правильно предсказанных позитивных исходов, T_{NEG} – число правильно предсказанных негативных исходов, POS – общее число позитивных исходов, NEG – общее число негативных исходов.

Для оценки стабильности модели после k экспериментов вычисляется индекс Кунчевой по следующей формуле:

$$KI(S_1, \dots, S_k) = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \frac{|S_i \cap S_j|}{|S_i \cup S_j|} \quad (2)$$

где S_i – множество полученных в ходе i -го эксперимента признаков.

Алгоритм решения задачи

Выбираем количество экспериментов k .

For $i=1, k$

Случайным образом разделяем выборку X на обучающую (X_L^i) и тестовую (X_T^i) части. При этом $|X_L^i| = 0.9 \cdot |X|$.

Проводим выбор наиболее информативных признаков G_{best}^i на части X_L^i и осуществляем построение модели $f(X_L^i, G_{best}^i)$.

Оцениваем качество модели, вычисляя значение $Q_i \leftarrow BCR(f(X_T^i, G_{best}^i))$.

End

Вычисляем $\bar{Q} \leftarrow \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k Q_i$ и $KI(G_{best}^1, \dots, G_{best}^k)$.

Опишем более подробно процесс выбора наиболее информативных признаков и построения модели.

Алгоритм выбора признаков

For $j=1, N$

Случайным образом выбираем $X_f \subseteq X_L^i$. При этом $|X_f| = 0.9 \cdot |X_L^i|$. Выполняем ранжирование признаков G на выборке X_f . Пусть множество G_j состоит из S лучших генов множества G .

End

$$G^* = \bigcap_{j=1}^N G_j$$

Находим G^+ , и G^+ – признаки, встретившиеся не менее, чем в 10% списков G_j . Положим $G_{best} \leftarrow G^*$ и строим модель $f(X_L^i, G_{best})$. Вычисляем $\max BCR \leftarrow BCR(f(X_L^i, G_{best}))$. Пусть $exit \leftarrow false$.

While $exit = false$

$exit \leftarrow true$

For each $t \in G^+$

$$G_{temp} = G_{best} \cup \{t\}$$

Строим модель $f(X_L^i, G_{temp})$ и вычисляем $cur BCR \leftarrow BCR(f(X_L^i, G_{temp}))$

If $cur BCR > \max BCR$ **then**

$G_{best} \leftarrow G_{temp}$, $\max BCR \leftarrow cur BCR$, $G^+ \leftarrow G^+ \setminus \{t\}$, $exit \leftarrow false$

End

End

return Gbest

Мощность множеств G^* и G^+ зависит от N и применяемого критерия ранжирования

Критерии ранжирования признаков:

1) t -статистики Стьюдента:

$$t_g = \frac{m_+ - m_-}{\sqrt{\frac{S_+}{n_+} + \frac{S_-}{n_-}}} \quad (3)$$

где t_g – оценка гена, $m_+(m_-)$ – среднее значение гена по позитивным (негативным) исходам, $S_+(S_-)$ – дисперсия значения гена по позитивным (негативным) исходам, $n_+(n_-)$ – количество позитивных (негативных) исходов.

2) “Сжимающая” t -статистика (“Shrinkage” t-statistic) предложенная в [6]:

$$t_g = \frac{m_+ - m_-}{\sqrt{\frac{v_+}{n_+} + \frac{v_-}{n_-}}}, \quad (4)$$

$$v_+ = \lambda * \bar{S}_+^2 + (1 - \lambda)S_+ \quad (5)$$

где S_+ – дисперсия позитивных значения гена для позитивных исходов, $\bar{S}_+^2$ – среднее значение S_+ по всем генам.

$$\lambda = \min(1, \frac{\sum_{k=1}^p \text{Var}(S_+^k)}{\sum_{k=1}^p (S_+^k - \bar{S}_+^2)^2}) \quad (6)$$

где p – количество признаков, S_+^k – дисперсия k -го признака для позитивных исходов.

$$\begin{aligned} \text{Var}(S_+^k) &= \frac{n_+}{(n_+ - 1)^3} \sum_{i=1}^{n_+} (w_{ik} - \bar{w}_k)^2 \\ w_{ik} &= (x_{ik} - m_+^k)^2 \\ \bar{w}_k &= \frac{1}{n_+} \sum_{i=1}^{n_+} w_{ik} \end{aligned} \quad (7)$$

x_{ik} – значение k -го признака i -го пациента, m_+^k – среднее значение k -го признака по позитивным исходам. При вычислении v_- вместо позитивных исходов рассматриваются негативные.

Построение классификатора. Для построения модели мы предлагаем использовать машину опорных векторов [6] со следующими функциями ядра:

Линейная: $K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$

Полиномиальная: $K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T x_j + r)^d$

Радиальные базисные функции: $K(x_i, x_j) = e^{(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)}$

Результаты. В статье рассмотрены два набора данных:

1) *Alon* (см. [7]), содержащий степени выраженности 2000 генов у 62 пациентов. У 40 из них диагностирован рак прямой кишки.

При использовании нашего подхода для данной выборки с параметрами $S=64$ и $N=1000$ оказалось, что 18 признаков входят в список G^* всегда, 1790 признаков в этот список не попадают ни разу (соответственно 210 – хотя бы один раз). Таким образом удалось существенно сократить размерность задачи с 62×2000 до 62×210 . Если оставить только те признаки, которые входят в «топ-64» не менее, чем в 10% всех ресемплингов, то размерность можно еще уменьшить с 210 признаков до 85. Результаты работы алгоритма с использованием различных критериев и функций ядра представлены в Таблице 1

Таблица 1

Результаты для *Alon*

	BCR	KI	Отобрано признаков
t-статистика с линейной функцией ядро	0,6733	0,6822	32-37
Shrinkage t-statistic с линейной функцией ядро	0,775	0,6722	31-36
Shrinkage t-statistic с квадратической функцией ядро	0,825	0,64	29-38
Shrinkage t-statistic с радиальными базисными функциями в качестве функции ядро	0,9	0,7444	30-33

2) *LymphomaNoNa* (см. [8])– этот набор данных содержит степени выраженности генов, измеренные по технологии cDNA microarray (Lymphochip). В наборе есть информация о 4026 генов для 47 пациентов из них 24 пациента с В-подобной диффузной В-крупноклеточной лимфомой центров размножения и 23 с активированной В-подобной диффузной В-крупноклеточной лимфомой.

Результаты работы алгоритма для набора данных *LymphomaNoNa* представлены в Таблице 2

Результаты для LymphomaNoNa

	BCR	KI	Отобрано признаков
Shrinkage t-статистика с радиальными базисными функциями	0,9333	0,7106	30-37
t-statistic с радиальными базисными функциями	0,9583	0,6471	28-39
Shrinkage t-statistic с радиальными базисными функциями и пороговым значением 40%	0,95	0,7049	28-42

Выводы. В данной работе рассмотрена задача уменьшения пространства признаков в бинарной классификации. Проанализированы существующие методы решения и предложен новый подход для выбора информативных признаков, сочетающий в себе преимущества фильтра и локального поиска. Были проанализированы результаты работы машины опорных векторов с разными функциями ядра в качестве классификатора. Имеются перспективы улучшения подхода с помощью использования более интеллектуальных алгоритмов поиска в пространстве признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xiong M, Wuju L., Zhao J. et. al. Feature (gene) selection in gene expression-based tumor classification. // Mol. Gent. Metab.-2001.-Vol.73.-p. 239-247.
2. Furey T., Cristianini N., Duffy N. et. al. Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data. // Bioinformatics.-2000.-Vol. 16.-p. 906-914.
3. Shevade S., Keerthi S. A simple and efficient algorithm for gene selection using sparse logistic regression. // Bioinformatics.-2003.-Vol.19.-p.2246-2253.
4. Brown M., Grundy W., Lin D. et. al. Knowledge based analysis of microarray gene expression data using support vector machine. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA.-2000.-Vol. 97.-p. 262-267.
5. Opgen-Rhein R., Strimmer K. Accurate Ranking of Differentially Expressed Genes by a Distribution-Free Shrinkage Approach. // Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology.-2007.-Vol. 6, Issue 1.-p. 7-8.
6. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
7. Alon U. 'Broad patterns of gene expression revealed by clustering of tumor and normal colon tissues'. // [Электронный ресурс]. URL: <http://genomics-pubs.princeton.edu/oncology/affydata/index.html>
8. Alizadeh A.A. 'Distinct types of Diffuse Large B-Cell Lymphoma Identified By Gene Expression Profile'. [Электронный ресурс]. URL: <http://llmpp.nih.gov/lymphoma/data.shtml>

Д.І. Кузнецов, А.І. Купін

МЕТОД МОНІТОРИНГУ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯМ ЗАСОБАМИ НЕЙРОМЕРЕЖ

Анотація. Показана актуальність автоматизованого моніторингу енергоспоживання електрообладнанням. Запропонований метод моніторингу використання електроенергії з використанням спектр-струменевого аналізу. Розроблена та випробувана програмна модель автоматизованого моніторингу на основі застосування технології нейромереж.

Ключові слова: нейромережа, швидке перетворення Фур'є, АЧХ, моніторинг, ідентифікація

Постановка проблеми

На сьогоднішній день робота сучасних підприємств та установ характеризується суттєвим нерівномірним енергоспоживанням, як за окремими годинами, так і за днями тижня. Із збільшенням нерівномірності електроспоживання збільшуються затрати на виробництво, передачу та перерозподіл енергії [1]. І саме тому має велике значення перерозподіл робочих навантажень для економної роботи систем електрообладнання в умовах існуючої тарифної сітки. Дані проблеми визначають необхідність створення автоматизованої системи контролю енергоспоживання, що у подальшому дозволить знизити витрати на енергоспоживання шляхом інвентаризації електроустаткування, яке найбільше споживає енергії.

Аналіз публікацій за темою дослідження

Одними із проблемних галузей у питанні економії електроенергії є житлово-комунальна сфера та підприємництво. Однією із існуючих та запроваджених технологій є система моніторингу енергоспоживання типу «Energoauditor» [2]. У результаті її впровадження можливо економити до 30% теплової та 15-20% електроенергії. В основі даної системи є безперервний моніторинг, в автоматичному режимі, загальнодоступних технічних ресурсів (електролічильники, стандарт-

ні ЕОМ, датчики та ін.). Дана система дозволяє здійснювати контроль за споживанням теплової та електроенергії, а також управління на великій віддаленості об'єктів один від одного, а результати моніторингу подаються у вигляді таблиць та графіків.

Іншою системою автоматизованого контролю та моніторингу енергоспоживання є програмно-апаратний комплекс фірми InlineGroup [3], який складається із спеціалізованого електролічильника «Меркурій-230» та програмного забезпечення компанії ПРОСОФТ. Дана система дозволяє проводити аналіз спожитої електроенергії у масштабах населеного пункту, що охоплює близько 100 будинків.

Також досить потужною системою моніторингу енергоспоживання є система контролю «САТКОН-А» компанії «Сучасні технології» [4], яка дозволяє

оперативно визначати небаланс за кожною фазою, контроль за обривом лінії, станом запобіжників, передачі первинної та аналітичної інформації до датчиків перетворення інформації.

У силу своїх досягнень всі розглянуті розробки та програмно-апаратні комплекси мають один головний недолік, а саме використання датчиків для зняття інформації з об'єктів, що може бути нерациональним з економічної точки зору для її подальшого впровадження на підприємстві, житлово-комунальній сфері тощо.

Формулювання цілей статті

Метою даної статті є розробка методу моніторингу споживання електроенергії шляхом використанням спектр-струменевих характеристик електрообладнання, використовуючи базис багат шарових нейронних мереж на прикладі розробленого програмного засобу. У якості енергоспоживачів обрати електродвигуни постійного струму потужністю до 200 Вт.

Основна частина

На сучасному підприємстві найбільшими споживачами електроенергії є електродвигуни. Так, доля їх споживання від виробленої електроенергії, згідно з останніми дослідженнями, приблизно складає 75% [5]. Як і будь-яке обладнання, електродвигуни у процесі своєї експлуатації піддаються дефектам, що у свою чергу може спричинити збільшення споживання електроенергії або їх повний вихід з ладу. В основі розроблюваного методу є аналіз спектр-струменевих характе-

ристик електродвигунів з використанням математичного апарату розкладу функції у ряд Фур'є для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики для її подальшого аналізу засобами нейронних мереж.

Як відомо, кожне електрообладнання, а особливо електродвигуни, характеризується негативною властивістю – утворення гармонік вищих порядків, які «забруднюють» електромережу, і можуть спричинити утворення пошкоджень у електрообладнанні [6]. Але у нашому випадку, вищі гармоніки, які утворюються внаслідок роботи електродвигунів, є досить гарним інструментом для зняття інформації, наприклад, з системи живлення устаткування, без безпосереднього підключення до нього, та без участі спеціальних датчиків для зняття інформації. Загальна структурна схема моніторингу представлена на рис. 1, де сигнал від електродвигуна у вигляді гармонік потрапляє у електромережу, далі – у аналого-цифровий перетворювач, після чого сигнал аналізується розробленим програмним засобом. Структурна схема роботи ПЗ представлена на рис. 2, де отриманий сигнал перетворюється за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є.

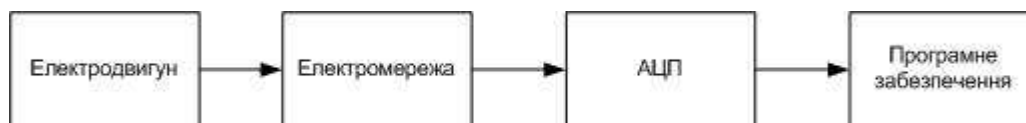


Рисунок 1 – Структурна схема моніторингу енергоспоживання

У загальному випадку ряд Фур'є можна записати у вигляді суми нескінченної кількості гармонічних складових різних частот:

$$U(t) = U_0 + \text{Sum}(U_m * \sin(k * w * t + \phi)), \quad (1)$$

де k – номер гармоніки, kw – кутова частота k гармоніки, $w=2\pi/T$ – кутова частота першої гармоніки, ϕ – початкова фаза сигналу, U_0 – нульова гармоніка. Для виділення спектру було використано швидкий алгоритм дискретного перетворення Фур'є.

В основі процесу ідентифікації електродвигуна (див. рис.3) є порівняння отриманої АЧХ з еталонною АЧХ, яка властива тільки даному об'єкту.

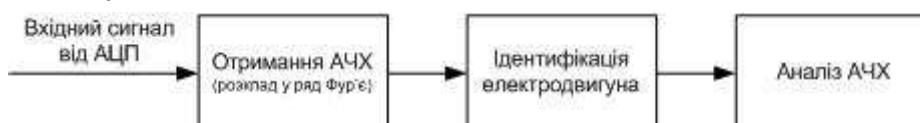


Рисунок 2 – Структурна схема роботи програмного забезпечення

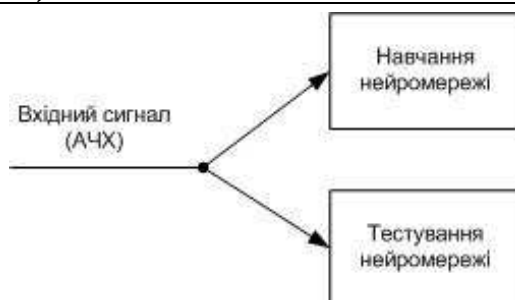


Рисунок 3 – Структурна схема ідентифікації електродвигуна

Перед процесом ідентифікації будь-якого об'єкту лежить обов'язкова процедура запам'ятовування набору його основних характеристик, на основі яких відбувається процедура розпізнавання. У даному методі основними характеристиками електродвигунів є їх характерні значення амплітуд на відповідних частотах. У процесі дослідження АЧХ електродвигунів було помічено, що максимальні значення амплітуд частот змінюються із часом у деякому діапазоні і мають стає середнє значення. Тому вхідними даними, як при навчанні, так і ідентифікації є діапазони частот із максимальним значенням амплітуди, тобто із масиву АЧХ $U[m]$, можна знайти діапазон частот $[m-p, m]$, в яких із часом встановлюються максимальні значення амплітуд, де p – є шириною (точністю) нашого діапазону, Ser – середнім значенням амплітуд:

$$Ser = \text{Max}(U[m]) / p, \quad (2)$$

Тобто максимальні значення амплітуд для відповідного двигуна знаходяться у діапазоні $[U_{min}; U_{max}]$, де U_{min} та U_{max} – мінімальні та максимальні значення амплітуд, які можуть виникати на будь-якій частоті діапазону $[m-p, m]$, що і є його основною властивістю. У процесі тренування нейронної мережі вхідною вибіркою є діапазон частот $[m-p, m]$, навчаючою множиною є середнє значення амплітуд.

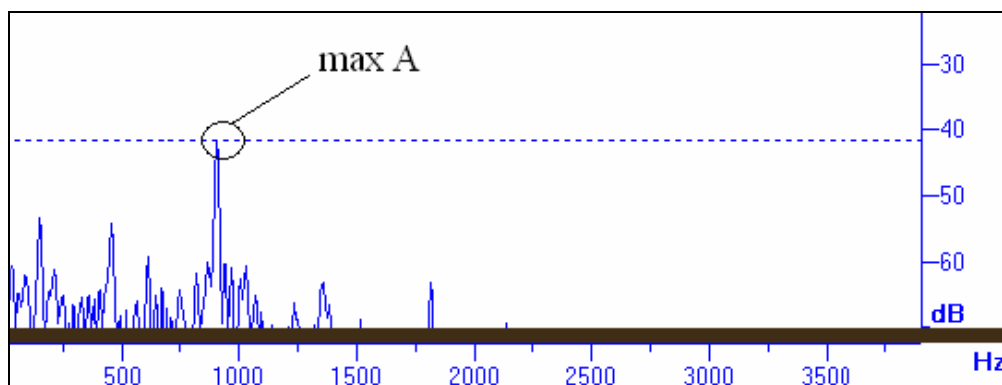


Рисунок 4 – АЧХ роботи електродвигуна у холостому ході

У процесі дослідження спектральних характеристик електродвигунів було помічено, що із збільшенням навантаження, максимальні значення амплітуд зберігають своє значення, але змінюють частоту. АЧХ роботи електродвигуна у холостому ході представлено на рис. 4, де максимальне значення амплітуди складає -41dB, на частоті 906 Hz.

АЧХ роботи двигуна у навантаженому стані представлена на рис. 5. Як видно з графіку, максимальне значення амплітуди складає -43 dB, на частоті 859 Hz. Отже, відбулося невелике зміщення частоти на 47 Hz із зменшенням значення максимальної амплітуди. У процесі дослідження було встановлено, що для оптимального моніторингу енергоспоживання, зменшення максимальної амплітуди може змінюватися максимум на 5%, тобто у даному випадку діапазон чутливості нейромережі коливається у діапазоні [40; 44] dB при умові, що ідеальне значення амплітуди складає 41dB.

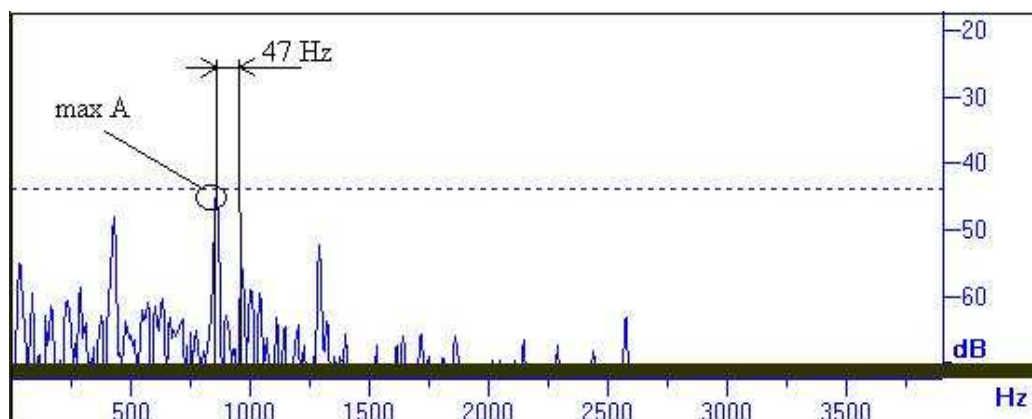


Рисунок 5 – АЧХ роботи двигуна у навантаженому стані

Розглянемо моніторинг енергоспоживання на прикладі двох електродвигунів. АЧХ роботи двигунів у холостому ході представлено на рис. 6.

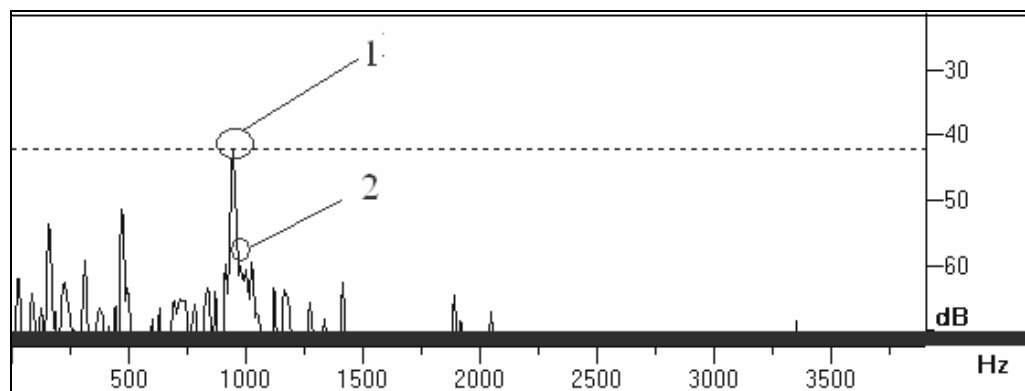


Рисунок 6 – АЧХ роботи двигунів у холостому ході

Значення амплітуд для двигунів №1=-41dB та №2=-55dB на частотах 906Hz та 1000 Hz відповідно. Подамо на двигун №1 деяке навантаження, внаслідок чого отримаємо АЧХ представлену на рисунку 7.

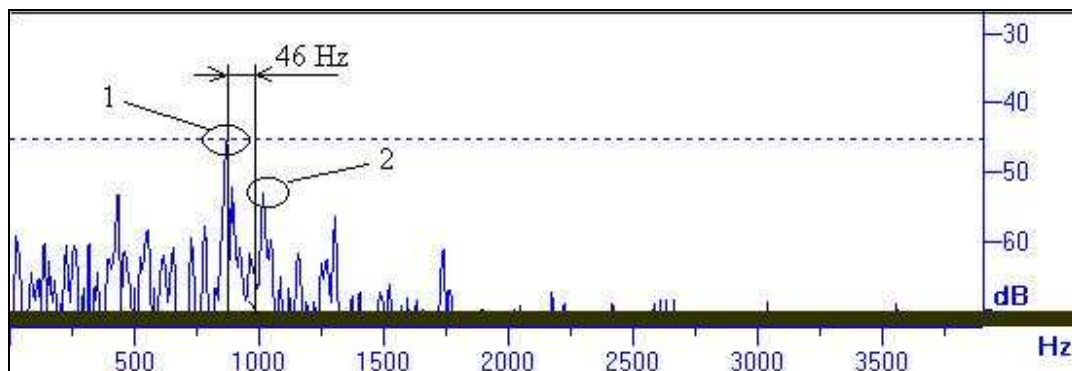


Рисунок 7 – АЧХ роботи двигунів у навантаженому стані

Значення амплітуд для двигунів №1=-44dB та №2=-54dB на частотах 850Hz та 1001 Hz відповідно. Отже, як видно з графіка, амплітуда двигуна змінилася на 3 dB.

Для загального випадку, блок-схема моніторингу енергоспоживання представлена на рис. 8, де будь-яке електрообладнання під'єднується до електромережі з деякою напругою (U) та силою струму (I). Для зняття гармонічних характеристик обладнання (блоки 1-3) з електромережі потрібно вхідну напругу перетворити у прийнятну для АЦП, наприклад осцилографа, шляхом використання струменевих трансформаторних перетворювачів (блок 4). Після отримання АЧХ (блок 6), якщо електрообладнання під'єднано вперше, його потрібно запам'ятати нейромережею для майбутньої ідентифікації та складання ідеальної моделі роботи електрообладнання, наприклад у холостому ході (блок 8). Якщо дане обладнання використовується у системі не вперше, то відбувається процес його ідентифікації (блок 9) та аналіз (блок 10), тобто порівняння даного стану обладнання з ідеальним, та виведенням відповідного висновку про енергоспоживання (блок 11).

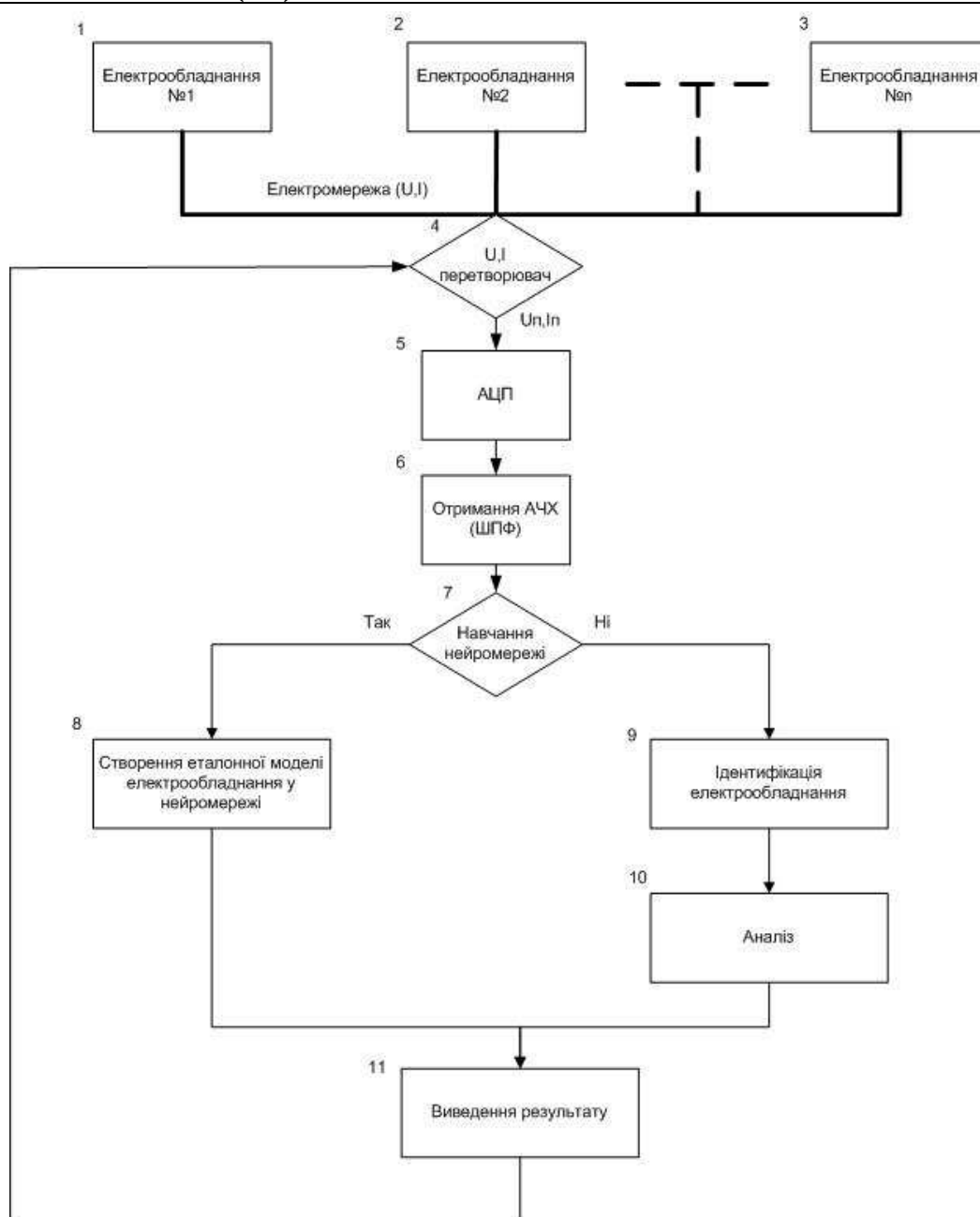


Рисунок 8 – Блок-схема моніторингу енергоспоживання

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі отриманих результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Моніторинг енергоспоживання електрообладнанням є актуальним та проблемним питанням на сучасних підприємствах, житлово-комунальній сфері тощо.

2. Своєчасна ідентифікація надмірного енергоспоживання може призвести до значної економії коштів або вчасної перевірки обладнання на предмет дефектів.

3. У світі не існує двох однакових електродвигунів, усі вони мають свій характерний слід, який легко ідентифікувати, наприклад, з використанням прямого перетворення Фур'є.

4. Авторами було протестовано програмний засіб, виконаний у середовищі Delphi7. У якості нейронної мережі було обрано багатопшарову нейромережу зворотного розповсюдження помилки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розробка імітаційної моделі енергоспоживання промислового підприємства [Електронний ресурс] / Савина О.А, Стичук А.А. // «Імітаційне моделювання систем» - 2003.- Режим доступу: <http://www.gpss.ru/immod'03/070.html>;
2. Система моніторингу енергоспоживання [Електронний ресурс] / Соколов С.А // Інновації та підприємництво – 2010. – Режим доступу: <http://www.innovbusiness.ru/projects/view.asp?r=205> ;
3. Система контролю енергозбереження [Електронний ресурс] / Петраков О.І // Підприємницька автоматизація – 2010. – Режим доступу до статті : http://www.inlinegroup.ru/services/prom_aut/example/askke.php ;
4. Перетворення Фур'є [Електронний ресурс] / Карташкін А.А. // Кодування сигналів – 2004.- Режим доступу: <http://medem.kiev.ua/page.php?pid=530> ;
5. Сергиєнко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиєнко. – Питер, 2002.-196 с.
6. Юкіко Сато. Цифровая обробка сигналів / Сато Юкіко. – Москва, 2010. - 178 с.

ПІДХІД ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. Розглянуто питання побудови математичної моделі за допомогою регресійного аналізу. Досліджено можливість застосування імітаційного моделювання в умовах гірничого виробництва. Встановлено залежність точності апроксимації лінійної регресійної моделі від числа незалежних предикторних змінних та від кількості експериментів навчальної вибірки.

Ключові слова: технологічний процес, регресійний аналіз, метод найменших квадратів, ідентифікація, математична модель

Постановка проблеми

Сьогодні інформаційні технології (ІТ) знаходять застосування майже у всіх галузях промисловості. Вони стали невід'ємною ланкою автоматизації технологічних процесів, розвитку систем підтримки прийняття рішень та оптимізації складних технічних систем. Прогрес сучасних ІТ сприяє не тільки підвищенню продуктивності праці, надійності обладнання та його техніко-економічних показників, але й відкриває нові можливості для наукового дослідження. Зараз з'являються та оновлюються методи аналізу технологічних об'єктів, застосування яких раніше стримувалося малопродуктивними обчислювальними машинами. Однією із таких задач є побудова математичної моделі багатofакторного технологічного процесу.

Як показують раніше проведені дослідження [1], існують суттєві передумови оптимізації параметрів технологічних процесів розробки залізної руди відкритим способом. Проте ефективне керування підготовкою гірської маси в кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) можливе лише за умови синтезу математичної моделі з найбільш актуальними параметрами. Необхідність оптимізації в режимі часу близькому до реального вимагає врахування якомога більшої кількості технологічних показників. Так, наприклад, розглядаючи пе-

реділи кар'єру як об'єкти керування, можна виділити близько 15-20 вхідних змінних, кожна з яких має досить велику дисперсію. Відношення середньоквадратичного відхилення до математичного очікування для деяких з цих параметрів може сягати 20-40%. Крім того, наявність стохастичних збурень, значні похибки вимірювання дуже ускладнюють процедуру ідентифікації. Тому створення багатофакторної математичної моделі кар'єру у межах буро-вибухових робіт є актуальним завданням, оскільки допоможе знайти метод мінімізації сумарних питомих витрат на розробку 1 т руди.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Питанням побудови регресійних математичних моделей присвячено багато робіт [2-4]. Значний внесок у розвиток теорії обробки статистичних даних внесли вчені: Айвазян С.А., Гайдишев І.П., Івахненко О.Г., Днейпер Н., Джонсон Л., Сміт Г. та ін. Достатньо глибокі дослідження у цій сфері слугують гарним підґрунтям для розробки ефективних методів машинного навчання. Останні особливо корисні при застосуванні інтелектуальних інформаційних технологій у гірничій галузі промисловості. Проведений аналіз показав, що існуючі техніко-економічні моделі [4, 5] сьогодні потребують вдосконалення та актуалізації, оскільки змінилася не тільки вартість енергоресурсів, ринкові умови та деякі переділи гірничого виробництва, але й підвищилися вимоги до якості продукції підприємства. Крім того, використання сучасних засобів обчислювальної техніки тепер дозволяє урахувати додаткові фактори та уточнити математичну модель об'єкта.

Формулювання цілей статті

Виходячи з вищезазначеного, було вирішено побудувати регресійну математичну модель за статистикою технологічної бази даних підприємства. Необхідно визначити залежність точності такої моделі від обсягу вибірки, ідентифікувати тип регресійного рівняння та його порядок шляхом імітаційного моделювання. Додатково необхідно дослідити вплив статистичного шуму на результати імітаційного моделювання.

Викладення матеріалу та результати

Особливістю обраного авторами технологічного об'єкта є його висока складність, багатофакторність та значна часова інерційність [1]. Зважаючи на труднощі проведення експериментів у кар'єрі ГЗК

та надзвичайно високу їх вартість, аналіз було здійснено за допомогою імітаційного моделювання, послідовність операцій якого представлено на рис.1. На рисунку прийнято такі умовні позначення: $i=1..N$ – номер експерименту; N – загальна кількість експериментів у навчальній вибірці; f_i – міцність породи за шкалою М.М. Протод'яконова; γ_i – щільність породи, т/м³; z_i – тріщинуватість гірського масиву, 1/м; α_i – ступінь обводненості свердловин; W_i – лінія найменшого опору за підшоною уступу, м; p_i , l_{3i} – довжина перебуру та забивки відповідно, м; q_i – питомі витрати вибухівки, кг/м³; D_{Cpi} – середній розмір шматка породи, мм; η_{Hi} – вміст фракції негабариту у висадженій гірській масі, %; $\bar{k}_i = \{k_{j|i}\}$, $j=1..4$ – вектор, що характеризує коефіцієнт використання обладнання в часі (буровий станок, екскаватор, транспорт та дробарку); $S_{\Sigma i}$ – сумарні питомі витрати, грн./т.

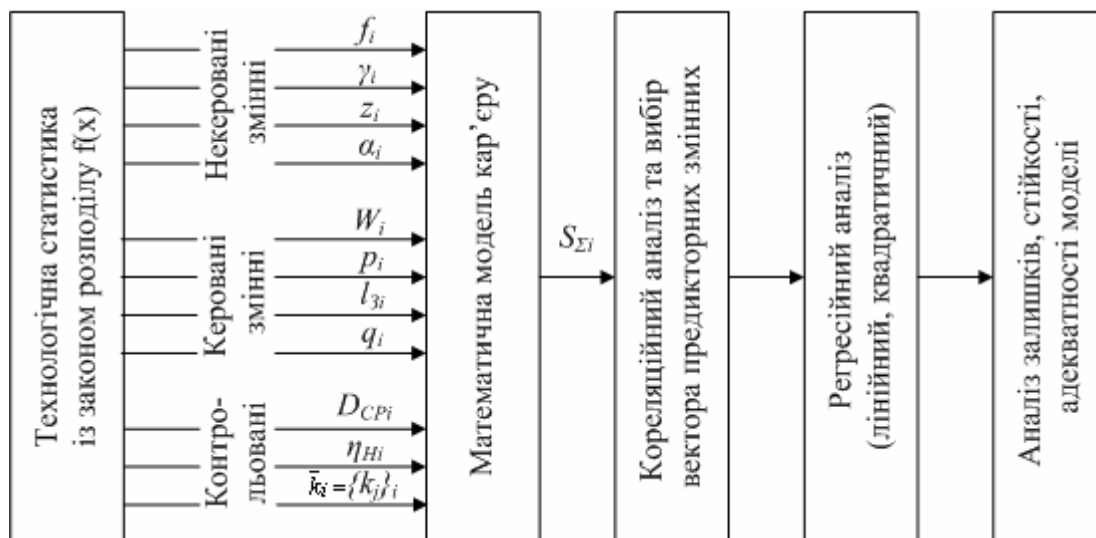


Рисунок 1 - Схема імітаційного моделювання

Слід зазначити, що крім традиційного лінійного та нелінійного регресійного аналізу існує чимало підходів до математичного опису об'єктів керування, таких як метод групового урахування аргументів (МГУА), нейронні мережі, методи на базі нечіткої логіки, інтерполяція на основі сплайнів тощо. Проте, як показав аналіз, застосування останніх із зазначених методів пов'язане з деякими труднощами. Так, наприклад, інтерполяція поліномом чи сплайнами при наявності випадкової складової у статистиці призводить до значних амплітуд коливань інтерпольованої функції та «викидів». У цьому випадку на графіку залежності простежується значна кількість локальних екст-

ремумів, що ускладнює процес пошуку оптимуму. МГУА, як і нейромережеві підходи передбачають велику кількість обчислень, а у випадку спрощення, перетворюються у звичайне регресійне рівняння.

У якості лінійного регресійного рівняння було взято наступний поліном

$$y(X) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m, \quad (1)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_m$ – предикторні змінні; m – кількість змінних.

Аналіз параметрів технологічного процесу показав, що для побудови якнайповнішої регресійної моделі потрібно врахувати близько 14 параметрів. Згідно з методом найменших квадратів вектор коефіцієнтів B можна знайти, розв'язавши матричне рівняння

$$M_Z B = V_Y \Rightarrow B = M_Z^{-1} V_Y, \quad (2)$$

$$\text{де } B = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_m \end{bmatrix}, \quad M_Z = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N 1 & \sum_{i=1}^N x_{1i} & \sum_{i=1}^N x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^N x_{mi} \\ \sum_{i=1}^N x_{1i} & \sum_{i=1}^N (x_{1i})^2 & \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{mi} \\ \sum_{i=1}^N x_{2i} & \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} & \sum_{i=1}^N (x_{2i})^2 & \dots & \sum_{i=1}^N x_{2i} x_{mi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^N x_{mi} & \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{mi} & \sum_{i=1}^N x_{2i} x_{mi} & \dots & \sum_{i=1}^N (x_{mi})^2 \end{bmatrix}, \quad V_Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i \\ \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^N x_{mi} y_i \end{bmatrix}.$$

Слід зауважити, що не для всякої статистики можна розв'язати рівняння (2). Причиною цього може бути погано обумовлена матриця M_Z та близькість її визначника до нуля. З точки зору даних це пояснюється мультиколінеарністю – тісним кореляційним взаємозв'язком між предикторними змінними, які разом впливають на апроксимовану функцію. Для відбору найбільш значущих змінних розраховується матриця кореляцій за формулою

$$R_{X,Y} = \frac{M[XY] - M[X]M[Y]}{\sqrt{(M[X^2] - M^2[X])(M[Y^2] - M^2[Y])}}, \quad (5)$$

де $M[X]$, $M[Y]$ – математичні очікування змінних X та Y .

Якщо для деяких предикторних змінних $R_{XiXj} \rightarrow 1$, то потрібно один із них виключити зі статистики. Після встановлення кореляційного зв'язку між кожною із незалежних змінних зі значенням цільової функції Y визначається порядок, згідно з яким регресійні змінні потрібно включати в модель (табл. 1). До обраного предиктора із найбільшим за модулем значенням коефіцієнта кореляції послідов-

но додаються залишені предиктори і розраховується коефіцієнт детермінації для кожної моделі. Процес приєднання предикторів закінчується, коли значення коефіцієнта детермінації стає меншим, ніж одержане на попередньому кроці.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції та порядок включення змінних у модель

X_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}
$R_{x_i,y}$	0,27	0,05	-0,53	0,19	-0,18	-0,06	-0,11	0,27	0,56	0,52	0,33	-0,21	-0,53	-0,17
№ з/п	6	14	2	9	10	13	12	7	1	4	5	8	3	11

Ступінь адекватності регресійної моделі статистичним даним перевіряється за допомогою коефіцієнта детермінації R^2 , що показує, яка частка дисперсії апроксимованої функції пояснюється впливом предикторних змінних, та середньоквадратичної похибки $\varepsilon_{СКВ}$, яка відображає точність апроксимації. Ці показники визначаються згідно з формулами відповідно

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}))^2}{\sum_{i=1}^N \left(y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right)^2}, \quad \varepsilon_{СКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}))^2}{N}}. \quad (6)$$

Залежність коефіцієнта детермінації від кількості врахованих в моделі предикторних змінних представлена на рис. 2. На графіку зображено криві при різній кількості експериментів. Із характеру залежностей видно, що модель стає тим точнішою, чим більшу кількість предикторів до неї включити.

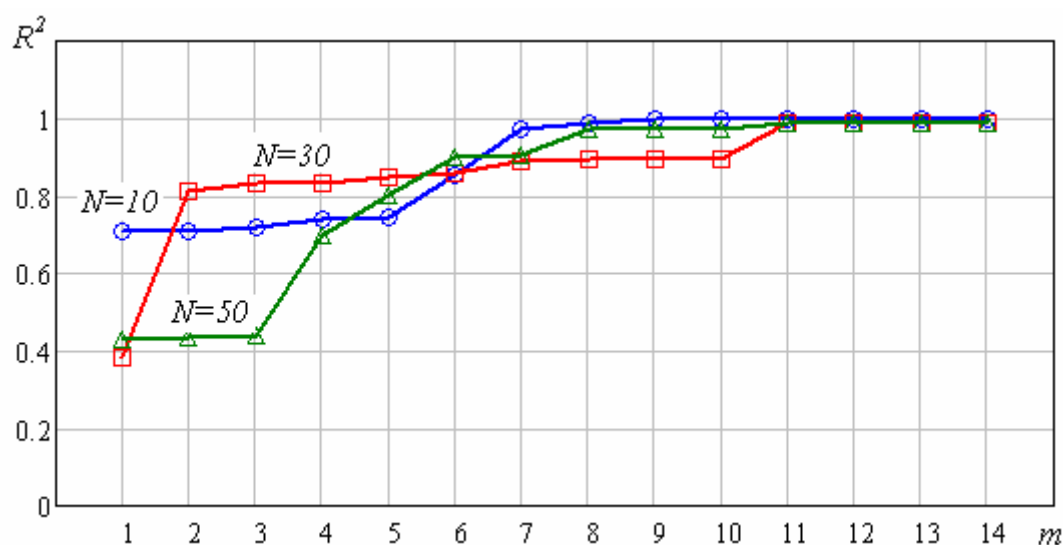


Рисунок 2 - Залежність точності моделі від кількості врахованих предикторів

Однією із головних задач, які постають при імітаційному моделюванні, є визначення числа реалізацій N , що необхідно провести для забезпечення потрібної статистичної точності результатів. Для цього можна скористатися відомою формулою [7]

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \sigma_E^2}{\varepsilon^2}, \quad (7)$$

де α – довірна ймовірність; t_{α} – квантиль нормального закону, який відповідає заданому значенню α і визначається за таблицями нормального розподілу; σ_E – дисперсія показника ефективності експерименту. У якості останнього можна застосувати критерій R^2 , проте наперед визначити його дисперсію досить складно, тому було прийняте рішення встановити число N емпіричним способом.

Статистична вибірка розбивається на дві частини: перша є навчальною і містить N_H записів, а друга – тестова складається із N_T записів. Аналіз якості результатів проводиться за допомогою двох коефіцієнтів детермінації: R^2_H – відображає точність апроксимації навчальної вибірки даних; R^2_T – тестової вибірки, тобто точність прогнозування математичною моделлю. Результати роботи моделі при об'ємі навчальної вибірки 20 записів представлено на рис. 3. Слід звернути увагу, що лінійна модель дає гарні результати на навчальних даних ($R^2_H = 0,996$), проте екстраполяцію виконує із значною похибкою ($R^2_T = 0,793$).

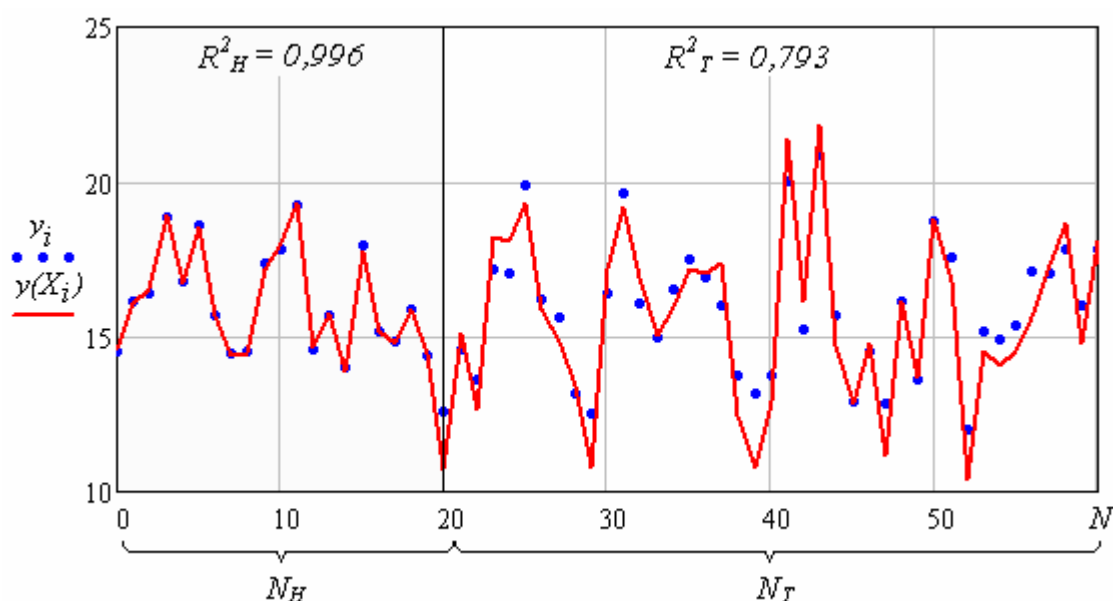


Рисунок 3 - Результати навчання лінійної регресійної моделі

Для встановлення необхідної кількості експериментів було проаналізовано декілька реалізацій статистики. Для кожного значення N_H визначалась точність прогнозування. Результати моделювання зображені на рис. 4.

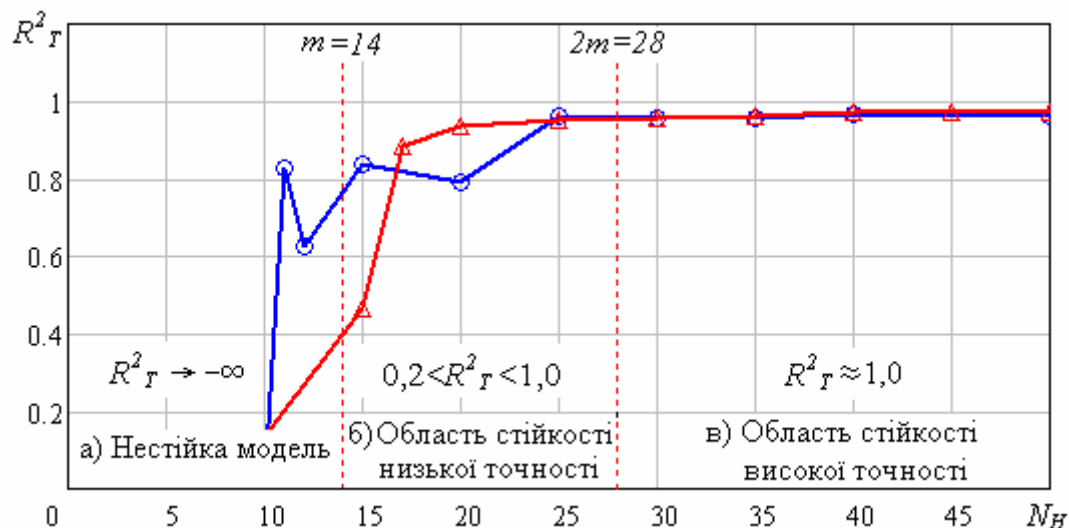


Рисунок 4 - Залежність точності прогнозування лінійної моделі від об'єму вибірки навчання

Графік умовно розбито на три частини: при об'ємі навчальної вибірки, меншої за кількість предикторних змінних, лінійна регресійна модель нестійка; при об'ємі більшому у два рази – коефіцієнт детермінації близький до одиниці; в середній області – математична модель стійка, проте точність коливається у значних межах.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, у межах даної роботи авторами було запропоновано підхід до ідентифікації математичної моделі кар'єру за допомогою лінійного регресійного аналізу. Особливості технологічного процесу, а також одержані результати доводять можливість та доцільність застосування імітаційного підходу. Встановлено, що збільшення кількості незалежних предикторних змінних у лінійній моделі підвищує її точність і вимагає збільшити об'єм навчальної вибірки до значення $N_H \approx 2m$.

У зв'язку із екстремальними характеристиками даного технологічного процесу подальші дослідження будуть спрямовані на застосування квадратичної регресії, яка дозволить проводити ідентифікацію та оптимізацію параметрів технологічних об'єктів у режимі часу близькому до реального.

ЛІТЕРАТУРА

1. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / [Друкованый М.Ф., Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Ефремов Э.И.]. – К.: Наукова думка, 1974. – 269 с.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
3. Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных: специальный справочник / И.П. Гайдышев. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
4. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.
5. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых / И.А. Тангаев. – М.: Недра, 1986. – 231 с.
6. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учебное пособие / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 288 с.

УДК 681.5

Ю.А. Осинский, В.Я. Копп, Е.В. Лазарева, О.В. Филипович
**ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ (САУ) КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ШАГОВЫМ
ПНЕВМОПРИВОДОМ ПОВОРОТНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Аннотация. Рассматривается способ построения цифровой системы управления углом поворота выходного элемента колебательного шагового пневмопривода поворотного действия. Приводится алгоритм программного управления и пример моделирования динамики привода с его использованием.

Ключевые слова: динамические характеристики, колебательный шаговый пневмопривод, программное управление

**1 Объект исследования и анализ публикаций в области
моделирования его динамических характеристик**

Объектом исследований являются колебательные шаговые пневмоприводы поворотного действия (КШПП). По сравнению с дискретными пневмоприводами, они обеспечивают большее число точек позиционирования, а по сравнению со следящими – большую жесткость при фиксации достигнутого положения. Их несомненным преимуществом является возможность осуществления контурного управления при необходимости перемещения исполнительного органа по заданной траектории с заданной скоростью.

Подробно конструкция КШПП представлена в [1]. В его основе лежит внутреннее зубчатое зацепление. Наружная шестерня под действием внешних сил, создаваемых мембранными пневмоприводами, за счет специальной кинематики совершает плоскопараллельные круговые движения (в дальнейшем колебания), а внутренняя шестерня при этом осуществляет вращательное движение.

Теоретические динамические характеристики КШПП оценивались при помощи уравнения движения, вывод которого осуществлялся на основании уравнения Лагранжа второго рода и подробно дан в [2]. Дифференциальное уравнение, описывающее изменение угла поворота ведущего элемента, имеет вид:

© Осинский Ю.А., Копп В.Я., Лазарева Е.В., Филипович О.В., 2011

$$\ddot{\alpha}(t) = b \cdot \left(\frac{1}{p_0} \cdot F_{\tau_{\text{рез}}}(t) - \frac{M_c \cdot i}{(1 - K_\phi) \cdot p_0} \right), \quad (1)$$

где $b = p_0 \cdot r^{-1} \left(m_1 + \frac{J \cdot i^2}{1 - K_\phi} \right)^{-1}$; $\alpha(t)$ – угол смещения ведущего элемента; $F_{\tau_{\text{рез}}}(t)$ – результирующее воздействие, оказываемое на ведущий элемент; d – диаметр окружности колебаний ведущего элемента ($r = d/2$); m_1 – масса ведущего элемента; $J = J_s + m_n \cdot r_n^2$ – момент инерции системы; J_s – момент инерции ведомого элемента; m_n – масса нагрузки; r_n – радиус траектории нагрузки; $i = 2/D_2$ – коэффициент клиновой передачи «ведущий элемент – ведомый элемент»; $K_\phi = \frac{(D_2/d + d/D_2)f}{(f + d/D_2) \cdot D_2/d}$ – коэффициент; p_0 – установившееся значение силового воздействия, которое оказывает мембранный пневмопривод в режиме «включено»; $M_c = 9,81 \cdot m_n \cdot r_n$ – момент сопротивления, действующий на выходном валу; $d = D_1 - D_2 = (z_1 - z_2) \cdot m_z$ – диаметр окружности колебаний ведущего элемента, причем m_z – модуль зацепления; $D_1 = z_1 \cdot m_z$ – диаметр ведущего элемента; $D_2 = z_2 \cdot m_z$ – диаметр ведомого элемента; f – коэффициент трения.

При совершении одного полного круга колебаний ведущего элемента ведомый элемент поворачивается на угол $\gamma^{\text{ок}} = \frac{z_1 - z_2}{z_1} 2\pi$.

Величина результирующего воздействия, оказываемого на ведущий элемент, определяется тангенциальной $F_\tau(t)$ составляющей суммы управляющих воздействий, создаваемых мембранными пневмоприводами, и суммарной силой трения $F_{\text{тр}}(t)$, которая зависит от нормальной составляющей $F_n(t)$:

$$F_{\tau_{\text{рез}}}(t) = F_\tau(t) - \text{sign}(\dot{\alpha}(t)) \cdot |F_{\text{тр}}(t)|.$$

Величины $F_\tau(t)$ и $F_n(t)$ зависят от проекций управляющей силы на оси OX и OY:

$$\begin{cases} F_\tau(t) = -F_1(t) \cdot \sin \alpha(t) + F_2(t) \cdot \cos \frac{\pi}{4} \cdot (\cos \alpha(t) - \sin \alpha(t)), \\ F_n(t) = F_1(t) \cdot \cos \alpha(t) + F_2(t) \cdot \cos \frac{\pi}{4} \cdot (\sin \alpha(t) + \cos \alpha(t)) \end{cases}$$

где $F_1(t)$ и $F_2(t)$ определяют силу воздействия l -ого пневмопривода.

2 Цель работы

Цель данной статьи – рассмотрение способа разработки системы автоматического управления (САУ) поворотом ведомого элемента посредством включения/выключения пневмоприводов.

Рассматривается КШПП с мембранными пневмоприводами (рисунки 1), расположенными под углом 45° друг относительно друга.

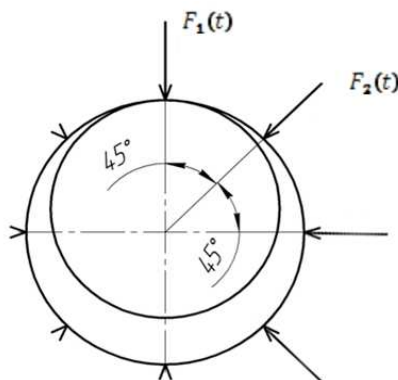


Рисунок 1 – Схема действия сил в точках расположения восьми пневмоприводов

Для данного случая, в соответствии с [2], суммарная сила трения определяется тангенциальной $F_t(t)$ и нормальной $F_n(t)$ составляющими суммы управляющих воздействий и силами трения между штоками мембранных пневмоприводов и ведущим элементом:

$$F_{TP}(t) = 2f \cdot \left(F_1(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot F_2(t) \right) \cdot \cos(\alpha(t)).$$

Так как $F_1(t) \geq 0$, $F_2(t) \geq 0$, а на интервале значений $0 \leq \alpha(t) \leq \frac{\pi}{4}$,

выполняется условие $\frac{\sqrt{2}}{2} \geq \cos(\alpha(t)) \geq 0$, то $F_{TP}(t) \geq 0$, а, следовательно,

$|F_{TP}(t)| \equiv F_{TP}(t)$. Таким образом

$$\begin{aligned} F_{\tau_{рез}}(t) = & \frac{\sqrt{2}}{2} F_2(t) \cdot \cos \alpha(t) - \left(F_1(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} F_2(t) \right) \cdot \sin \alpha(t) - \\ & - 2f \cdot \text{sign}(\dot{\alpha}(t)) \cdot \left(F_1(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot F_2(t) \right) \cdot \cos(\alpha(t)). \end{aligned} \quad (2)$$

Переключение пневмоприводов может осуществляться только в определенные моменты t_k , из дискретного множест-

ва $\{t_k : t_k = t_0 + k \cdot \frac{1}{\nu}; k = 0, 1, 2, \dots\}$, зависящего от частоты срабатывания пневмоприводов, определяемой их техническими возможностями ($\nu \in [80 \div 120]$ Гц).

Управление, оказываемое l -ым пневмоприводом на интервале времени $t \in [t_k; t_{k+1})$ определяется соотношением:

$$F_l(t) - F_l(t_k) = p_0 \cdot \left[F_{lf} + a_0 e^{\lambda_0(t-t_k)} + a_1 e^{\lambda_1(t-t_k)} + a_2 e^{\lambda_2(t-t_k)} + a_3 e^{\lambda_3(t-t_k)} + a_4 e^{\lambda_4(t-t_k)} \right] \cdot u_l(t_k),$$

где $u_l(t_k) \in \{0; 1\}$ – величина, отражающая осуществление в данный момент времени силового воздействия l -ым пневмоприводом, которая принимает одно из двух значений $\{0; 1\}$ (“0” – привод отключен; “1” – включен); p_0 – установившееся значение силового воздействия, которое оказывает мембранный пневмопривод в режиме «включено»; F_{lf} , $a_i, i = 0, 1, \dots, 4$ – коэффициенты (в общем случае – комплексно-сопряженные) разложения функции управления по экспоненциальным функциям с соответствующими показателями λ_i .

При построении закона управления следует учитывать только сам факт включения/выключения l -ого пневмопривода.

3 Линеаризация нелинейной модели САУ

Для обеспечения выбора управления в режиме реального времени в виде обратной связи на основе реальных данных о положении и скорости ведущего элемента в момент t_k , реальную нелинейную систему (1) можно приближенно заменить линейной системой.

Выделим в выражении результирующего воздействия из формулы (2) функциональную зависимость, определяющую нелинейную часть

$$\begin{aligned} \phi(t, \alpha(t), \dot{\alpha}(t), F_1(t_k), F_2(t_k)) = \frac{1}{p_0} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} F_2(t) \cdot \cos \alpha(t) - \right. \\ \left. - \left(F_1(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} F_2(t) \right) \cdot \sin \alpha(t) - 2f \cdot \text{sign}(\dot{\alpha}(t)) \cdot \left(F_1(t) + \frac{\sqrt{2}}{2} F_2(t) \right) \cdot \cos \alpha(t) \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Пренебрегая динамикой переходного процесса пневмопривода, будем считать, что в моменты t_k величина силового воздействия изменяется скачком и моментально принимает установившееся значение. Без учета инерционности срабатывания, можно считать, что си-

ла, оказываемая l -ым пневмоприводом на интервале времени $t \in [t_k; t_{k+1})$ определяется соотношением:

$$F_l(t) \approx F_l(t_k) = p_0 \cdot u_1(t_k), \quad t \in [t_k; t_{k+1}),$$

где $u_1(t_k) \in \{0; 1\}$. С учетом этого допущения на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ функция (3) имеет вид

$$\begin{aligned} \phi(t, \alpha, \dot{\alpha}, u_1, \bar{u}_2) = & (\bar{u}_2(t_k) - 2f \cdot \eta(t) \cdot (u_1(t_k) + \bar{u}_2(t_k))) \cdot \cos \alpha(t) - \\ & - (u_1(t_k) + \bar{u}_2(t_k)) \cdot \sin \alpha(t), \end{aligned}$$

где $\bar{u}_2(t_k) = \frac{\sqrt{2}}{2} u_2(t_k)$; $u_1(t_k)$ и $\bar{u}_2(t_k)$ – постоянные на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ значения; $\eta(t) = \overset{\Delta}{\text{sign}}(\dot{\alpha}(t))$.

В исследуемом динамическом процессе переменные $\alpha(t)$ и $\dot{\alpha}(t)$, изменяются так, что их отклонения от установившихся нулевых значений остаются все время достаточно малыми. Обозначив указанные отклонения через $\Delta\alpha$ и $\Delta\dot{\alpha}$, разложим функцию ϕ в ряд по степеням указанных выше малых отклонений. Тогда функция (3) примет вид

$$\begin{aligned} \phi(t, \alpha, \dot{\alpha}, u_1, \bar{u}_2) = & \bar{u}_2(t_k) \cdot (\cos(\alpha_f) + \sin(\alpha_f) \cdot \Delta\alpha(t)) \\ & - (u_1(t_k) + \bar{u}_2(t_k)) \cdot (\sin(\alpha_f) + \cos(\alpha_f) \cdot \Delta\alpha(t)) - \\ & - 2f \cdot \eta(t) \cdot (u_1(t_k) + \bar{u}_2(t_k)) \cdot (\cos(\alpha_f) + \sin(\alpha_f) \cdot \Delta\alpha(t)) + \\ & + (\text{члены высшего порядка малости}). \end{aligned}$$

Примем также с некоторой долей допущения, что если на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ меняется направление движения ведущего элемента, то $\eta(t) \equiv \eta(t_k) = 0$, а если скорость ведущего элемента изменяется так, что её знак на этом интервале остается постоянным, то $\eta(t) \equiv \eta(t_k) = \text{sign}(\dot{\alpha}(t)|_{t=t_k})$.

Таким образом, после линеаризации получаем, что на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ динамика исходной нелинейной системы достаточно адекватно описывается дифференциальным уравнением в нормальной форме Коши:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} y(t) &= A(t_k) \cdot y(t), \\ \alpha(t) &= C \cdot y(t), \end{aligned}$$

где

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\alpha(t) \\ \dot{\alpha}(t) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} y_1(t_0) \\ y_2(t_0) \\ y_3(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(t_0) - \alpha_f \\ \dot{\alpha}(t_0) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad A(t_k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ b \cdot a(t_k) & 0 & b \cdot c(t_k) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$a(t_k) = - \left((1 + \eta(t_k) \cdot 2f) \cdot \cos(\alpha_f) \cdot u_1(t_k) + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot ((1 + \eta(t_k) \cdot 2f) \cdot \cos(\alpha_f) - \sin(\alpha_f)) \cdot u_2(t_k) \right);$$

$$c(t_k) = \left(-(1 + \eta(t_k) \cdot 2f) \cdot \sin(\alpha_f) \cdot u_1(t_k) + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot (\cos(\alpha_f) - (1 + \eta(t_k) \cdot 2f) \cdot \sin(\alpha_f)) \cdot u_2(t_k) \right) -$$

$$- \frac{M_c \cdot i}{(1 - K_\phi) \cdot p_0}; \quad \eta(t_k) = \begin{cases} -1, & \dot{\alpha}(t) < 0, \quad \forall t \in [t_k; t_{k+1}) \\ +1, & \dot{\alpha}(t) > 0, \quad \forall t \in [t_k; t_{k+1}) \\ 0, & \exists t : \dot{\alpha}(t) = 0, t \in [t_k; t_{k+1}) \end{cases}; \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \alpha_f \end{bmatrix}.$$

4 Алгоритм программного управления

В задаче конструирования требуется произвести поворот ведущего элемента из начального положения $\alpha(t_0) = \alpha_0$ в конечное $\alpha(t_f) = \alpha_f$ (где t_f – момент окончания переходного процесса), осуществив остановку в этой конечной позиции (т.е. $\dot{\alpha}(t_f) = 0, \ddot{\alpha}(t_f) = 0$).

Важная отличительная черта исследуемой САУ состоит в необходимости реализовать управление путем выбора на дискретном множестве моментов времени t_k величин двух переменных $u_1(t_k)$ и $u_2(t_k)$ из множества значений $\{0; 1\}$.

Предлагается следующий подход.

Управление пневмоприводами осуществляется так, чтобы на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ состояние системы максимально приблизилось к конечному:

$$\alpha(t_{k+1}) \rightarrow \alpha(t_f).$$

Решением задачи проектирования является выбор коэффициентов $u_1(t_k)$ и $u_2(t_k)$, обеспечивающий оптимальное с некоторой точки зрения протекание этого процесса. Очевиден один из критериев выбора коэффициентов, обеспечивающий наиболее близкое совпадение траекторий реальной и идеальной систем, – минимизация ошибки по положению

$$\varepsilon(k) = q_0 \cdot |\alpha(t_{k+1}) - \alpha(t_f)| + q_1 \cdot |\dot{\alpha}(t_{k+1}) - \dot{\alpha}(t_f)| \rightarrow \min,$$

где $\alpha, \dot{\alpha}$ – точные или оценочные значения угла и скорости смещения ведущего элемента; q_0, q_1 – коэффициенты, определяющие вес ошибки по позиции и скорости, соответственно.

Для реализации предложенного метода следует перед началом работы определить все допустимые значения управления $u_1(t_k)$ и соответствующие им $\varepsilon_i(k)$ на интервалах $t \in [t_k; t_{k+1})$, обеспечивающих остановку в требуемой позиции. При построении управления следует из возможных выбрать вариант с наименьшей ошибкой $\varepsilon_i(k)$.

В зависимости от поведения скорости ведущего элемента $\dot{\alpha}(t_k)$ на интервале $t \in [t_k; t_{k+1})$ и выбора элементов управления $u_1(t_k)$ и $u_2(t_k)$ на k -ом такте, матрица $A(t_k)$ может принимать одно из десяти значений:

$$\begin{aligned} 1 \text{ вариант. } u_1 = 0, u_2 = 0, & \longrightarrow A_0^{-0+} \longrightarrow \varepsilon_0(k) \\ 2 \text{ вариант. } u_1 = 0, u_2 = 1, & \longrightarrow A_1^-, A_1^0, A_1^+ \longrightarrow \varepsilon_1^-(k), \varepsilon_1^0(k), \varepsilon_1^+(k) \\ 3 \text{ вариант. } u_1 = 1, u_2 = 0, & \longrightarrow A_2^-, A_2^0, A_2^+ \longrightarrow \varepsilon_2^-(k), \varepsilon_2^0(k), \varepsilon_2^+(k) \\ 4 \text{ вариант. } u_1 = 1, u_2 = 1, & \longrightarrow A_3^-, A_3^0, A_3^+ \longrightarrow \varepsilon_3^-(k), \varepsilon_3^0(k), \varepsilon_3^+(k) \end{aligned}$$

Этим десяти вариантам матрицы A_i^η соответствуют десять матриц монодромии системы $\Phi_i^\eta = \exp\left(\frac{1}{v} A_i^\eta\right)$. Которые можно представить в виде:

$$\Phi_i^\eta = \begin{bmatrix} \varphi_{11}^{\eta} & \varphi_{12}^{\eta} & \varphi_{13}^{\eta} \\ \varphi_{21}^{\eta} & \varphi_{22}^{\eta} & \varphi_{23}^{\eta} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Условие выбора управления в момент времени t_k сводится к выбору наименьшей ошибки между линейным приближением состояния системы в момент времени t_{k+1} и требуемым конечным состоянием:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i^\eta(k) &= [q_0 \quad q_1 \quad 0] \cdot |\Phi_i^\eta \cdot y(t_k) - y(t_f)| = \\ &= q_0 \cdot \left| \varphi_{11}^{\eta} \alpha(t_k) + \varphi_{12}^{\eta} \dot{\alpha}(t_k) + (\varphi_{13}^{\eta} - \varphi_{11}^{\eta} \cdot \alpha_f) \right| + \\ &+ q_1 \cdot \left| \varphi_{21}^{\eta} \alpha(t_k) + \varphi_{22}^{\eta} \dot{\alpha}(t_k) + (\varphi_{23}^{\eta} - \varphi_{21}^{\eta} \cdot \alpha_f) \right|, \end{aligned}$$

где q_0, q_1 — вещественные неотрицательные коэффициенты, определяющие вес ошибки по позиции и скорости, соответственно.

5 Пример моделирования динамики КШППри программном управлении

Исследовался КШПП с параметрами: $m_1 = 0,522$ кг; $J_s = 0,00515$ Н·м²; $m_3 = 0,34$ кг; $r_3 = 0,1$ м; $f = 0,08$; $z_1 = 158$; $z_2 = 150$; $m_z = 0,0003$ м; $p_0 = 208$ Н; $\alpha_f = 11^\circ$.

Пневматический привод, исходя из его динамики, представлялся звеном, характеризующимся параметрами p_0 , λ_i , a_i , ($i = \overline{0,4}$). Параметры λ_i , a_i , выбирались на основании результатов идентификации указанного объекта, исходя из кривой переходного процесса изменения давления в его полости. Параметры пневмопривода, работающего на наполнение: $F_{lf} = 1$, $a_0 = -2,052$, $a_1 = a_2 = -1,47$, $a_3 = -a_4 = -7,35 \cdot i$, $\lambda_0 = -414,46$, $\lambda_1 = \overline{\lambda_2} = \lambda_3 = \overline{\lambda_4} = -153,03 - 88,58 \cdot i$, а на опорожнение: $F_{lf} = 0$, $a_0 = 2,477 \cdot 10^{-3}$, $a_1 = a_2 = 2,5$, $a_3 = -a_4 = 5,0 \cdot i$, $\lambda_0 = -7972,76$, $\lambda_1 = \overline{\lambda_2} = \lambda_3 = \overline{\lambda_4} = -154,80 - 79,51 \cdot i$.

Результаты моделирования показаны на рисунке 2.

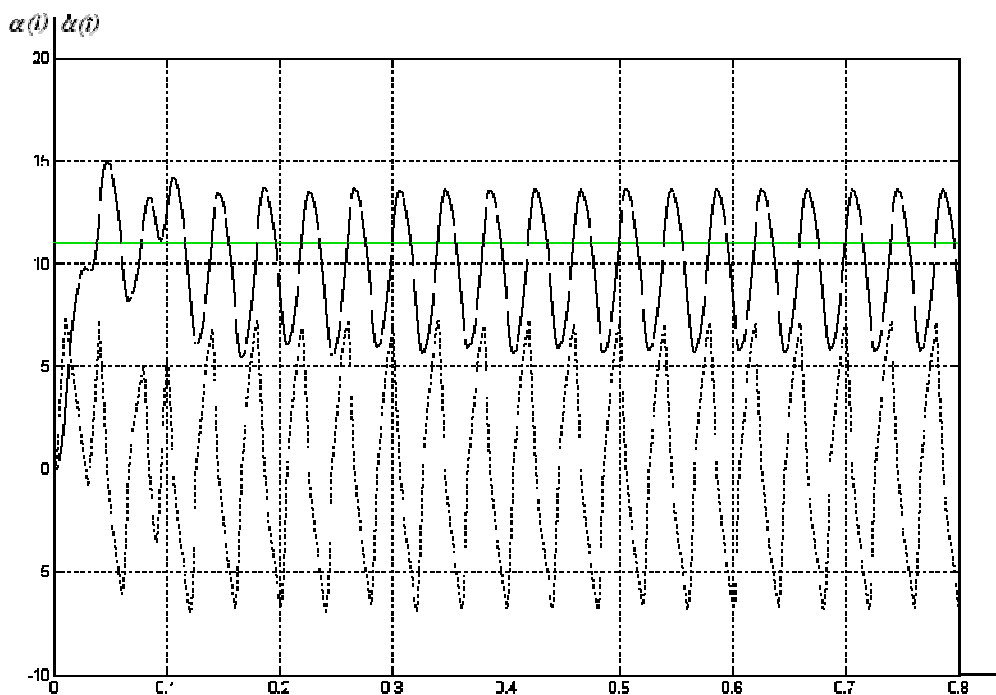


Рисунок 2 - Результаты моделирования динамики КШПП:

« — » — $\alpha(t)$; « - - » — $\dot{\alpha}(t)$

6 Выводы и перспективы дальнейших исследований

Результаты исследования наглядно доказывают возможность осуществления позиционирования в произвольной точке за счет введения обратной связи.

В дальнейших исследованиях предполагается осуществить оптимальное управление, в котором в качестве критерия будет выбран размах вынужденных колебаний в конечной точке позиционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копп В.Я. Пневматические модульные манипуляторы в сборочном производстве /В.Я. Копп //Машиностроительное производство. Сер. Автоматизация производства, гибкие производственные системы, робототехника. – М.: ВНИИТУЭМП, 1989. - Вып. 1 – С. 52.
2. Копп В.Я. Колебательные шаговые пневмоприводы /В.Я.Копп, Ю.А. Осинский, В.В. Поливцев //Оптимизация производственных процессов: Сб. научн. тр. – Севастополь, 2007. – Вып. 10. – С. 15 – 20.

М.А. Беда, Н.Е. Житник, В.Н. Лесничий, С.В. Плаксин

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА
ХРОНОПОТЕНЦИОГРАММ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА В ХИМИЧЕСКОМ
ИСТОЧНИКЕ ТОКА**

Аннотация. Предложена методика компьютерной обработки хронопотенциограмм, отображающих реакцию химического источника тока (ХИТ) на токовый импульс. Данная методика отработана на примере определения такого важного кинетического параметра электрохимического процесса, как ток обмена, знание которого позволяет контролировать динамику электрохимического процесса и осуществлять управление режимами работы ХИТ адекватно его энергетическому состоянию.

Ключевые слова: химический источник тока, хронопотенциограмма, компьютерная обработка, плотность тока обмена

Введение

Контроль состояния химического источника тока (ХИТ), основанный на регистрации реакции ХИТ на импульс тока в виде хронопотенциограмм (ХПГ) [1,2], дает возможность путем анализа ХПГ выделить ряд информационных параметров, характеризующих текущее состояние ХИТ [3]. С целью реализации адаптивного режима зарядки разработан метод многопараметрического контроля состояния ХИТ [4]. Для управления режимом используются информационные параметры, характеризующие кинетику протекающего в ХИТ электрохимического процесса [5]. Вместе с тем компьютерная обработка импульсных сигналов позволяет определить кинетические параметры, дополняющие информацию о процессе в ХИТ, но прямые приборные измерения которых затруднительны либо невозможны. К ним относятся, например, такой параметр, как плотность тока обмена, характеризующая скорость протекания электрохимической реакции в ХИТ. Этот параметр дает дополнительную информацию о свойствах активных материалов, а следовательно, об энергетических возможностях химического источника тока в целом. С практической точки

зрения знание этого кинетического параметра позволяет контролировать динамику электрохимического процесса и осуществлять управление режимами работы ХИТ адекватно его энергетическому состоянию. Это и определяет актуальность работ в данной предметной области.

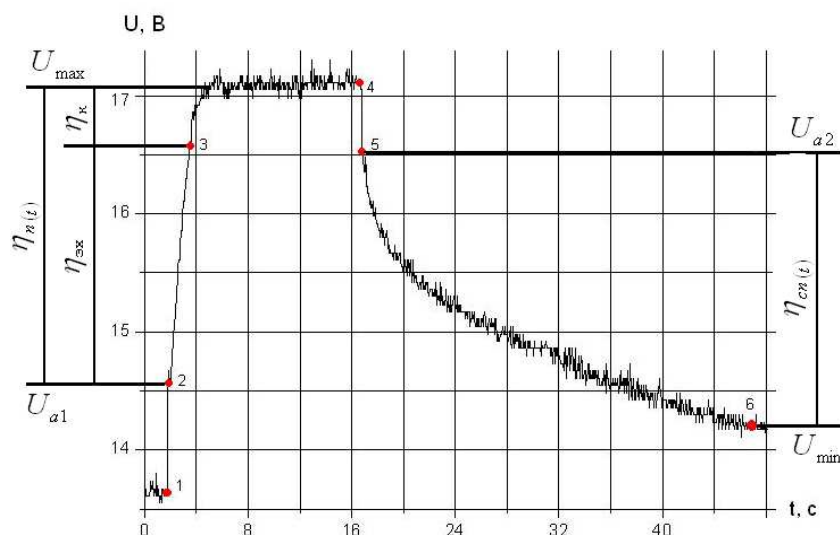
Цель настоящей работы – разработка методики компьютерной обработки хронопотенциограмм химического источника тока для определения кинетических параметров протекающего в нем электрохимического процесса.

1 Методика компьютерной обработки хронопотенциограмм

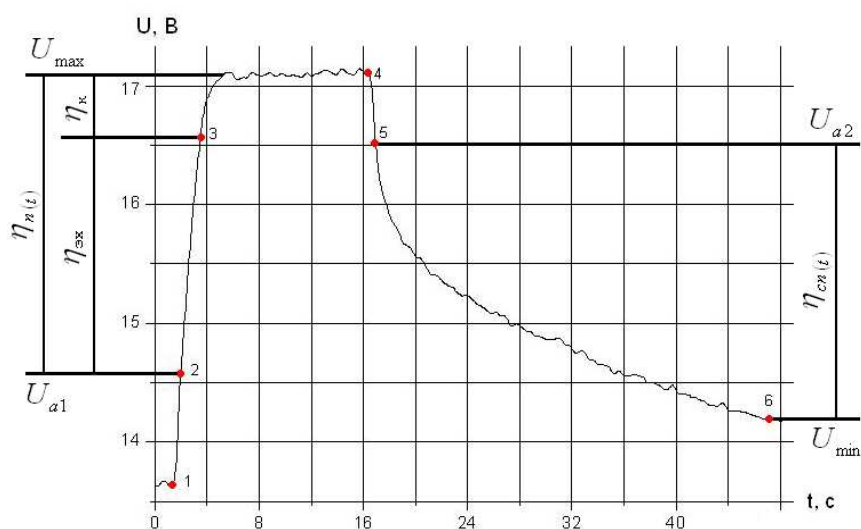
Реакция химического источника тока на импульс тока постоянной величины как функция напряжения от времени содержит информацию о кинетике протекающего в ХИТ электрохимического процесса и регистрируется в форме хронопотенциограммы, реальный вид которой изображен на рис.1.а.

Здесь же приведены обозначения используемых для расчета параметров. Для компьютерной обработки хронопотенциограмм необходимо знание координат точек, ограничивающих участки ХПГ, отображающие соответствующие стадии прохождения электрохимического процесса, а также промежуточных точек, расположенных на определенных участках ХПГ с целью изучения закономерностей протекания процесса и их влияния на параметры химического источника тока.

Как видно из рисунка, обработка ХПГ затруднена наличием на ней шумов как электрохимической природы, сопровождающих процессы в ХИТ, так и вносимых измерительной аппаратурой. Для автоматизации определения координат точек ХПГ и по их значениям – информационных параметров процесса в ХИТ нами разработан метод математической обработки хронопотенциограмм в среде Mathcad с целью выделения полезного сигнала из шумов [5], суть которого состоит в сглаживании ХПГ двумя различными фильтрами: medsmooth – с помощью скользящей медианы и ksmooth – с использованием гауссова ядра. Использование функций сглаживания позволяет выделить необходимые для расчета точки на ХПГ и вычислить их координаты (рис. 1.б).



а)



б)

Рисунок 1 - ХПГ свинцово-кислотной аккумуляторной батареи: а – до сглаживания; б – сглаженная фильтром ksmooth

Хронопотенциограмма описывается уравнением [6, стр. 183, 236, 255], которое применительно к химическому источнику тока имеет вид:

$$U(t) = U_{p.c.} \pm \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \cdot \lg \frac{i}{i_0} + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \cdot \lg \left(1 - \sqrt{\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

где $U_{p.c.}$ - напряжение разомкнутой цепи; i - величина тока, протекающего через ХИТ; i_0 - плотность тока обмена на границе раздела электрод-электролит; t - время протекания процесса; τ - переходное время; α - коэффициент переноса; n - количество зарядов, участвующих в окислительно-восстановительной реакции; R - универсаль-

ная газовая постоянная; F - число Фарадея; знак $(\pm)$ соответствует анодному и катодному процессу, T - значение температуры по шкале Кельвина.

Поскольку ХПГ описывает участок поляризации, или перенапряжения, то в (1) заменяем обозначение $U(t)$ на $\eta_{(t)}$ и строим ХПГ в

координатах $\eta_{(t)} - \lg\left(1 - \sqrt{\frac{t}{\tau}}\right)$, или для простоты обозначений $\eta_{(t)} - Y$,

где $Y = \lg\left(1 - \sqrt{\frac{t}{\tau}}\right)$.

Величину тока обмена определяли по отрезку, отсекаемому на оси перенапряжения поляризации при $Y = 0$.

Как известно, количественной характеристикой скорости электрохимической реакции является плотность тока обмена при определенном значении перенапряжения, которое, в общем случае, зависит от особенностей протекания различных стадий электрохимического процесса. Нами определялись указанные параметры на стадиях электрохимической η_s и концентрационной поляризаций η_k , а также на спаде напряжения поляризации $\eta_{сп}$ после снятия импульса.

Для расчета определялись координаты точек 2 и 5 (см. рис. 1), соответственно отображающие значения падения напряжения на активном внутреннем сопротивлении ХИТ U_{a1} в момент подачи импульса на ХИТ и падения напряжения на активном сопротивлении ХИТ U_{a2} в момент снятия импульса. Определялись также максимальное значение напряжения поляризации U_{max} при подаче импульса и минимальное значение напряжения спада U_{min} после снятия импульса.

Электрохимический процесс в ХИТ при его зарядке сопровождается выравниванием потенциала по толщине активных масс электродов, которое в первом приближении можно рассматривать как зарядка (а при снятии импульса как разряд) объемно-пористого конденсатора через сопротивление электролита в порах активных масс. Исходя из этих представлений, в своих расчетах для описания напряжения поляризации мы использовали выражение для переднего фронта импульса в виде:

$$\eta_{\Pi(t)} = (U_{\max} - U_{a1}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2)$$

а для описания спада напряжения – выражение для заднего фронта импульса в виде:

$$\eta_{\text{сп}(t)} = (U_{a2} - U_{\min}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

Соответственно временные выражения для поляризации и спада имели вид:

$$-\frac{t}{\tau} = \ln \left(\frac{U_{\max} - \eta_{\Pi(t)}}{U_{\max} - U_{a1}} \right) \quad (4)$$

$$-\frac{t}{\tau} = \ln \left(\frac{\eta_{\text{сп}(t)} - U_{\min}}{U_{a2} - U_{\min}} \right) \quad (5)$$

Расчеты осуществлялись по алгоритму, представленному на рис.2.



Рисунок 2 - Алгоритм расчета кинетических параметров электрохимического процесса в ХИТ

Порядок выполнения операций по алгоритму:

1. считывание измеренной хронопотенциограммы из текстового файла и преобразование данных для последующей обработки;

2. сглаживание полученных данных и нахождение времени и величины падения напряжения на активном сопротивлении на фрон-

те и спаде импульса по точкам 2 и 5, а также значений величин $U_{\max}$ и $U_{\min}$ по методике [5] (рис.1);

3. расчет значений $\frac{t}{\tau}$ для фронта и спада импульса;

4. расчет значений $Y_{(t)} = \lg\left(1 - \sqrt{\frac{t}{\tau}}\right)$ и построение зависимости перенапряжения $\eta_{\text{п}}$ и $\eta_{\text{сп}}$ от функции $Y_{(t)}$, используя соотношение

$$\frac{\eta_{(t)}}{Y_{(t)}} = \frac{k}{\alpha \cdot n}, \text{ где } k = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{F} = 0,059\text{В}, \alpha = 0,5;$$

5. нахождение электрохимической поляризации η_s для фронта и напряжения спада импульса из зависимости $\eta - Y_{(t)}$ по пресечению касательной с функцией $Y_{(t)}$; значению η_s будет соответствовать точка пересечения в $Y_{(t)} = 0$;

6. расчет изменения тока обмена i_0 для фронта и спада осуществляется по формуле: $\eta_{s(t)} = \frac{k}{\alpha \cdot n} \cdot \lg \frac{i}{i_{0(t)}}$, откуда $i_{0(t)} = 10^{\lg(i)-z}$, где

$$z = \frac{n \cdot \alpha \cdot \eta_{s(t)}}{k}, i - \text{величина тока подаваемого импульса, А};$$

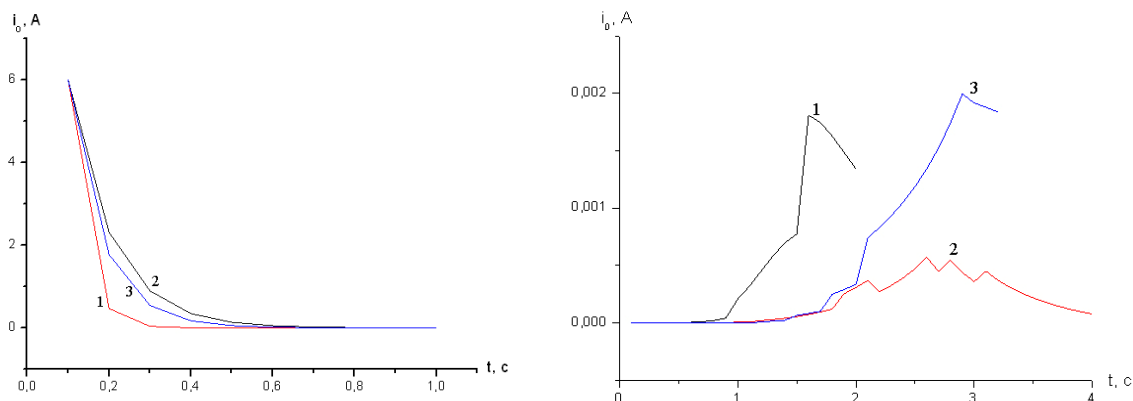
7. запись полученных результатов в файлы.

Для определения значения плотности тока обмена нужно величину тока обмена разделить на площадь реагирующей поверхности.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемая методика использовалась для обработки хронопотенциограмм различных химических источников тока. Хронопотенциограмма снималась с помощью электронного самописца Velleman PCSU1000 и производилась запись данных в текстовый файл. В качестве примера приведены результаты обработки ХПГ трех однотипных свинцово - кислотных аккумуляторных батарей 6СТ-60А3, имеющих различную степень заряженности, т.е. отличающихся значениями фактической ёмкости, выраженной в ампер-часах и являющейся основной энергетической характеристикой ХИТ. Аккумуляторная батарея (АБ) 1 имела емкость 60 А·ч, т.е. номинальную паспортную величину, а ёмкости АБ 2 и АБ 3 составляли 56 А·ч и 43 А·ч соответственно.

Полученные в результате обработки ХПГ этих АБ графики временной зависимости тока обмена изображены на рис.3, соответственно, при подаче на АБ токового импульса (а) и после снятия с АБ токового импульса (б).



а) при подаче импульса тока

б) при снятии импульса тока

Рисунок 3 - Зависимость тока обмена от времени

Как видно из приведенных графиков, ток обмена зависит от энергетического состояния ХИТ. Известно, что плотность тока обмена зависит от структуры, электронного строения активного материала, в частности, активных масс электродов ХИТ, концентрации и природы реагирующих частиц в активной зоне. Таким образом, полученные результаты подтверждают прямую зависимость значений исследуемого кинетического параметра от активности материалов, которая, в конечном итоге, определяет энергоёмкость химического источника тока.

Выводы

Разработана методика компьютерной обработки хронопотенциограмм химического источника тока, позволяющая определить такой важный кинетический параметр протекающего в ХИТ процесса, как плотность тока обмена. Методика использовалась для обработки ХПГ свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, имеющих различную ёмкость (в ампер-часах), которая является одной из основных энергетических характеристик ХИТ. Полученные результаты показали прямую зависимость значений определяемого кинетического параметра процесса от энергетических параметров ХИТ, что позволяет использовать этот параметр для контроля состояния химического источника тока по динамике протекающего в нем процесса, а также оценивать энергетические возможности активных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сиденко С.В. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током / С.В. Сиденко, К.В. Безручко, А.О. Давидов // Вісник Дніпропетровського університету: серія «Ракетно-космічна техніка». – 2007. – №9/2. – С. 126-132.
2. Дзензерский В.А. Контроль состояния стартерных свинцовых аккумуляторов хронопотенциометрическим методом / В.А. Дзензерский, Н.Е. Житник, С.В. Плаксин, И.И. Соколовский // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. – № 1. – С. 13-18.
3. Житник Н.Е. Информационные параметры для реализации адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / Н.Е. Житник, Ю.Л. Миропольский, С.В. Плаксин, Л.М. Погорелая и др.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 5(77). – С. 40-42. 4. Дзензерский В.А., Метод многопараметрического контроля адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / В.А. Дзензерский., Н.Е. Житник, С.В. Плаксин, Л.М. Погорелая, Ю.А. Ткаченко// Электроника и связь. – 2010. – №2. – С. 51-56.
5. Дзензерский В.А. Автоматизированная диагностика химических источников тока / В.А. Дзензерский, М.А. Беда, Н.Е. Житник, В.Н. Лесничий, С.В. Плаксин, Ю.А. Ткаченко// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – № 1. – (в печати)
6. Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М.: Химия, 1967. – 857 с.

Селіванова А.В., Селіванов А.П., Мазурок Т.Л.

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ТРЕНАЖЕРІ

Анотація. В даній роботі показана необхідність моделювання управління узагальненою холодительною установкою при створенні комп'ютерного тренажера по холодительній спеціальності, виявлена неспроможність класичних методів математичного моделювання вирішити деякі з задач, що стоять перед розроблювачами, показані переваги інтелектуальних методів управління.

Ключові слова: моделювання, управління, інтелектуальні методи, холодительна установка, комп'ютерний тренажер

Вступ

Застосування комп'ютерних тренажерів при навчанні холодительній справі забезпечує високий рівень та безпеку навчання. При навчанні холодительній справі у фахових навчальних закладах неможливо заздалегідь передбачити тип холодительної установки з яким студенту доведеться стикатись у майбутній професійній діяльності. Тому дуже важливо щоб студенти отримали навички, які можна застосувати при управлінні холодительними установками різних типів. При створенні тренажера закласти моделі всіх відомих установок практично неможливо. Холодительні установки відрізняються одна від одної засобом отримання холоду та низької температури, призначенням та різною холодопродуктивністю. В галузі помірного холоду найбільше розповсюдження отримали компресійні холодительні машини, які входять у склад компресійних установок. Даний тип установок характеризується різноманітністю схемно-циклових рішень. До складу дійсних схем входить велика кількість додаткових елементів та обладнання призначеного для підвищення ефективності та безпечності роботи холодительної установки, але не всі ці елементи приймають безпосередню участь у виробництві холоду та потребують регулювання. Тому узагальнений перелік елементів, що увійдуть до складу узагальненої

тренажерної холодильної установки, можна скоротити залишивши елементи, які є обов'язковими для отримання холоду, безпечної роботи та оказують вплив на засіб управління.

Робота холодильної установки включає 3 етапи – запуск/останов, вихід на режим, підтримку режиму. Управління запуском/остановом полягає у виконанні деякої послідовності дій : відкриття/закриття вентилів, що управляють, запуск водяного насоса, запуск компресора. Управління виходом на режим і підтримкою режиму полягає в регулюванні міри відкриття вентиля, що управляє, з метою регулювання подання холодильного агента в систему.

Аналіз проведених досліджень

Широке поширення тренажери отримали для навчання персоналу в галузях пов'язаних з переробкою речовин, що характеризуються токсичністю, пожаро і вибухонебезпекою, а також в сферах із складними системами управління технологічними процесами або агрегатами. [3,4]. Розробка комп'ютерних тренажерів складається з декількох етапів. При створенні і дослідженні моделей складних виробничих процесів технологічні аспекти можуть бути описані у вигляді аналітичних залежностей на основі фізико-хімічних законів і фундаментальних констант. Такі, наприклад, система управління і контролю доменної печі "Раутаруукки" (Фінляндія), система технічних розрахунків параметрів доменного процесу "GOSTOP", створена за ліцензією фірми "Кавасакі Стил Корпорейшн" (Японія), система управління і планування процесів виробництва сталі "ОРАКУЛ" (Росія), тренажерний комплекс КТК-м для технологічних процесів нафтопереробки і нафтохімії, розроблений СП ПЕТРОКОМ (Росія), та ін. При побудові підсистеми управління і контролю основою служать накопичений досвід і технологічні інструкції. Алгоритм управління може базуватися на основі відомих стандартних законів, або описі послідовності спрацьовування релейних схем, або на основі створення експертних систем з базою знань, що відбиває якісні залежності між параметрами процесу і управлінням в термінах нечіткої логіки [5].

Постановка задачі

Задача полягає у створенні моделі управління холодильною установкою, яка допоможе вирішити всі задачі, які стоять перед розроблювачами комп'ютерного тренажеру.

Матеріал і результати дослідження

У рамках дослідження було проведено математичне моделювання процесів пуску та виходу на режим узагальненої холодильної установки. Спрощена структурна схема холодильної установки наведена на рис. 1. На схемі прийнято наступні позначення: Кд – конденсатор, Б – батарея, Лр – лінійний ресивер, Км – компресор, Кам – холодильна камера, РВ – регулюючий вентиль, - 1х – вода холодна, - 1т – вода тепла.

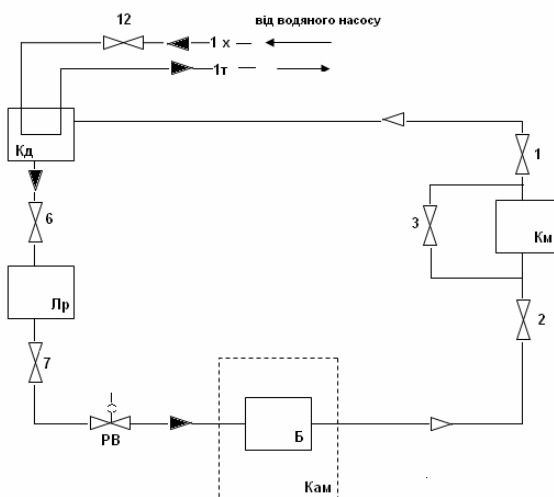


Рисунок 1 – Спрощена структурна схема холодильної установки

Моделювання перехідних процесів виконувалось у середовищі моделювання DCNET. Результати моделювання перехідних процесів елементів холодильної установки представлені в таблицях 1-3.

Таблиця 1

Вихід на заданий режим роботи компресора

Режим роботи компресора	Рівняння моделі об'єкту	Перехідні характеристики
Нормальний запуск на холодному ході	$P_k = 0.6P_0$	Рис.2 а
Запуск під навантаженням	$P_k = 2.35P_0$	Рис.2 б
Аварійний режим №1 (всмоктування в компресор відстне)	$0.216 \cdot \frac{d^2 P_k(\tau)}{d\tau^2} + 0.93 \cdot \frac{dP_k(\tau)}{d\tau} + P_k(\tau) = 0.52 \cdot P_0$	Рис.2 в
Аварійний режим №2 (нагнітання закрито)	$0.4 \cdot \frac{dP_k(\tau)}{d\tau} + P_k(\tau) = 2.13 \cdot P_0$	Рис.2 г

Таблиця 2

Вихід на заданий режим роботи холодильної камери

Ступінь відкриття РВ, %	Диференційне рівняння моделі об'єкту	Перехідні характеристики
60%	$76 \cdot \frac{d^2 t_{\text{кам}}(\tau)}{d\tau^2} + 17.5 \cdot \frac{dt_{\text{кам}}(\tau)}{d\tau} + t_{\text{кам}}(\tau) = 65 \cdot G$	Рис.3 а
100%	$18.9 \cdot \frac{d^2 t_{\text{кам}}(\tau)}{d\tau^2} + 8.9 \cdot \frac{dt_{\text{кам}}(\tau)}{d\tau} + t_{\text{кам}}(\tau) = 65 \cdot G$	Рис.3 а

Таблиця 3

Реакція елементів установи на внесення збурень

Збурення, яке поступає в систему	Диференційне рівняння моделі об'єкту	Перехідні характеристики
Зміна витрати холодильного агента на виході з Кд (зачинено вентиль 6)	$1.8 \cdot \frac{d^2 H(\tau)}{d\tau^2} + \frac{dH(\tau)}{d\tau} = 55 \cdot G$	Рис 4 а
Зміна витрати холодильного агента на виході з Лр (зачинено вентиль 7 або РВ)	$2 \cdot \frac{d^2 H(\tau)}{d\tau^2} + \frac{dH(\tau)}{d\tau} = 47.06 \cdot G$	Рис 4 б

Аналіз порівняння перехідних характеристик, отриманих під час експериментальних досліджень аміачної холодильної установки та отриманих в результаті моделювання, показав, що всі створені моделі елементів установки з достатньою ступеню точності відповідають дійсним, але використання даної моделі при програмуванні основних модулів програмного тренажера виявилось складною і майже нездійсненою задачею. Окрім цього дана модель не дозволяє контролювати та оцінювати правильність послідовності дій особи, що навчається, а це одна з головних задач тренажера.

В результаті проведеного дослідження було виявлено, що застосування класичних методів моделювання не приводить до задовільних результатів, коли початковий опис проблеми, що підлягає вирішенню свідомо є неточним або неповним. У цьому випадку, найдоцільніше скористатися такими методами, які спеціально орієнтовані на побудову моделей, що враховують неповноту і неточність початкових даних. У таких ситуаціях найбільш конструктивною виявляється технологія нечіткого моделювання, оскільки за останнє десятиліття на її основі були вирішені сотні практичних завдань управління і ухвалення рішень [1].

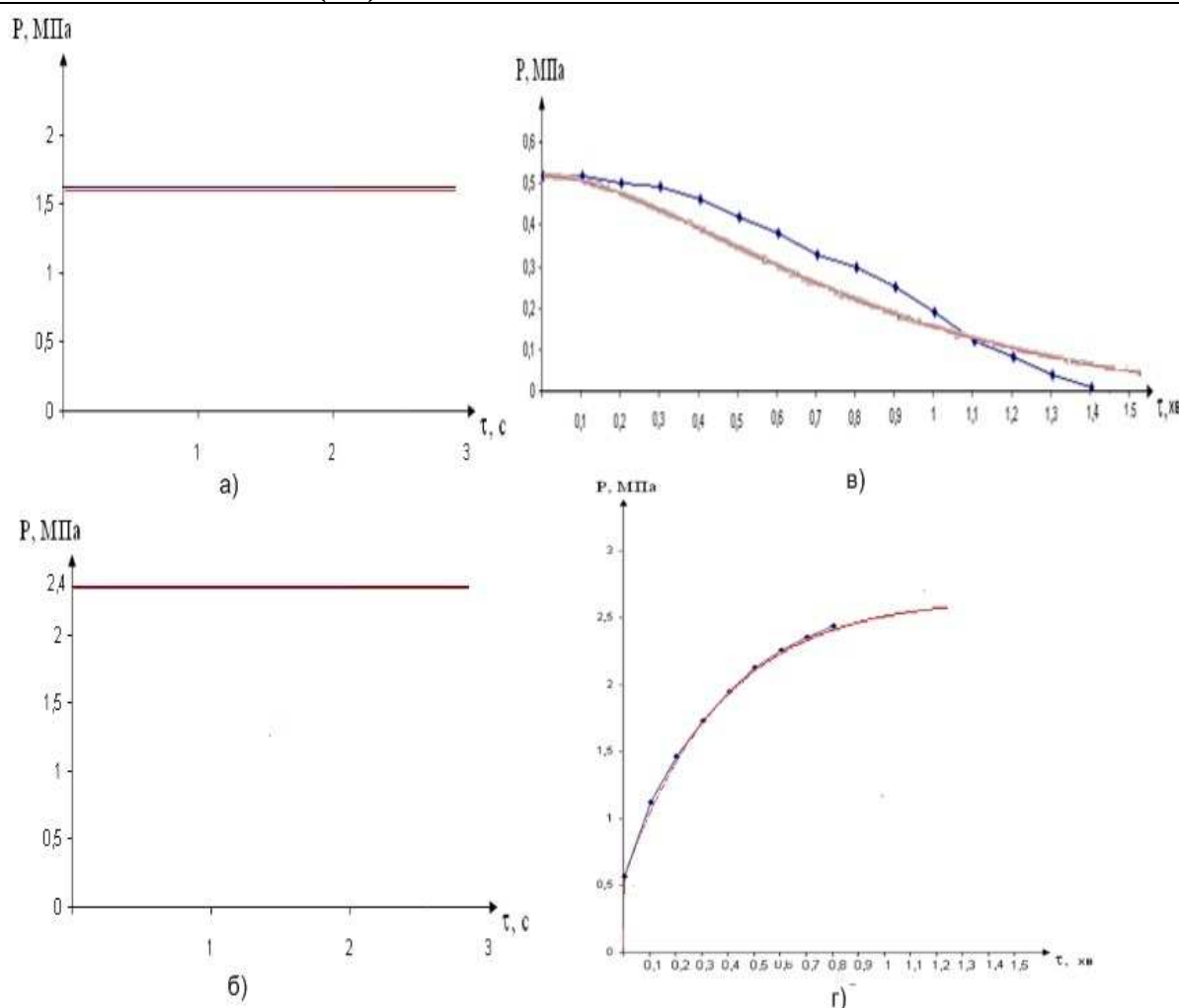


Рисунок 2 – Перехідні характеристики при виході на режим роботи компресора

У промислових процесах, особливо в ситуаціях, де звичайні методи управління важко застосовні широко використовуються методи нечіткого управління. Проте вони все ще страждають через складність отримання керуючих правил для процесів, в яких апріорні знання недостатні або не існують взагалі. Тому дуже важливим для нечіткого управління є те, як отримати керуючі правила.

Існують різні типи методів розробки нечітких регуляторів. Один з найбільш використовуваних методів отримання керуючих правил - це метод витяг експертних знань управління або використання знань досвідчених операторів. В результаті набір керуючих правил відображає емпіричні знання експертів про протікання процесу. Цей метод залежний від досвіду різних осіб, так що нечіткі керуючі правила можуть бути нездійсненими і навіть суперечити одне одному.

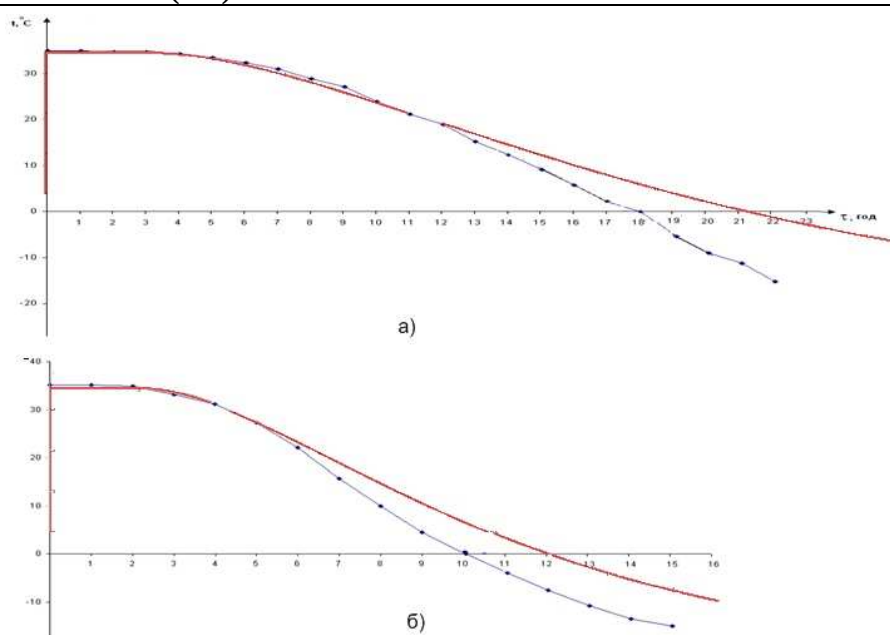


Рисунок 3 – Перехідні характеристики при виході на заданий режим роботи холодильної камери

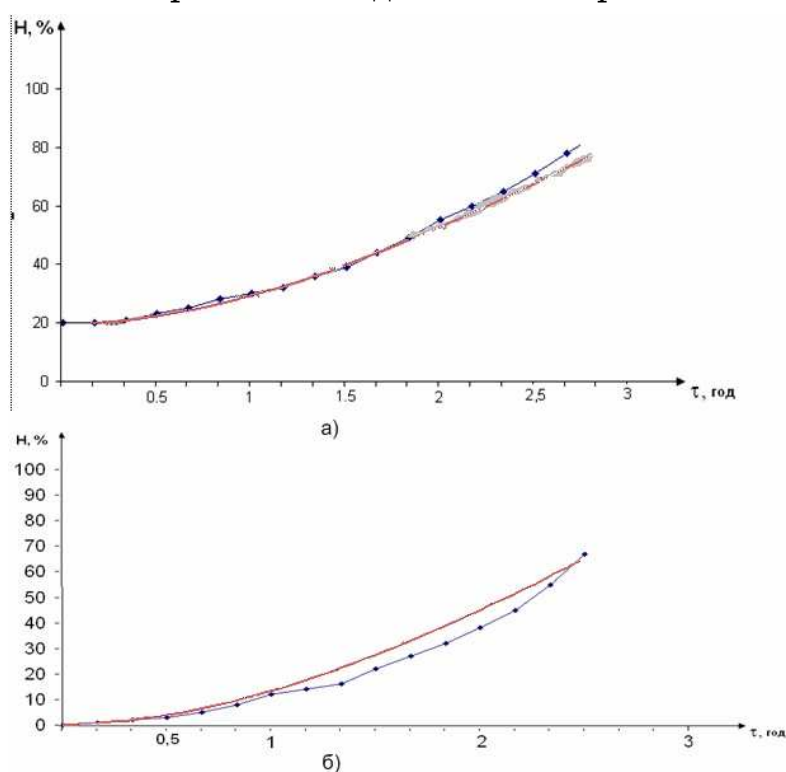


Рисунок 4 - Перехідні характеристики реакції елементів установки на внесення збурень

Інший метод має справу з нечітким моделюванням процесу, де приблизна модель об'єкту конфігурується з використанням імплікацій, що описують можливі стани системи. Подібно до традиційних підходів, узятих з теорії управління, нечіткий регулятор конструю-

ється для управління нечіткою моделлю, отриманою методами структурної ідентифікації і оцінки параметрів.

Самоналагоджувальне нечітке управління є дуже популярним методом, який успішно застосовується в управлінні процесами. Надалі самоналагоджувальне нечітке управління значно розширилося з використанням нейронних мереж. Різноманітність нейро-нечетких регуляторів удосконалила нечітке управління [2].

Перспективи дослідження

Надалі планується продовжити аналіз інтелектуальних методів моделювання управління холодильними установками, розробити нейро-нечітку модель узагальненої холодильної установки, модель інтелектуального інструктора, модель управління оцінюванням результатів навчання і управління навчанням, реалізувати розроблені моделі в тренажері по холодильним установкам, провести тестування і впровадження результатів дослідження.

Заключення

Математичне моделювання підходить не для усіх завдань, які стоять перед розробниками. Альтернативою математичному апарату є застосування нечіткого моделювання в комплексі з технологією нейронних мереж.

Отже, використання інтелектуального підходу до створення тренажерів є актуальним і виправданим, а питання інтелектуальної підтримки тренажера для управління холодильним устаткуванням вважається перспективним напрямом наукового дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.:ил.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 744 с, ил.
3. Шабает А.И. Тяжело в учении - легко в бою /А. И. Шабает // Информатизация и системы управления в промышленности, 2005 – № 4(8).
4. Косарев В.А. Современные комплексные системы обучения, тренинга и аттестации эксплуатационно – технологического персонала металлургических предприятий /В.А. Косарев, И.В. Катасонов //Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2002 – №12. – С.58–61.
5. Живица Ю. В., Онищенко О. А. Управление промышленной холодильной установкой с использованием алгоритмов нечеткой логики //Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2008 (51). Частина 2. - с. 140-143.

А.А. Гришко, С.Г. Удовенко

НЕЙРОСЕТЕВАЯ АППРОКСИМАЦИЯ Q-ФУНКЦИЙ В ТРЕЙДИНГОВЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Работа посвящена разработке системы формирования торговых стратегий, основанных на методах машинного обучения с подкреплением и процедурах настройки аппроксимирующего многослойного персептрона. Рассмотрены традиционные и альтернативные методы аппроксимации таблицы Q-значений при использовании искусственных нейронных сетей. Приведена возможная схема реализации предложенных вычислительных процедур для оптимизации стратегии принятия решений в трейдинговых системах.

Ключевые слова: трейдинговая система, многослойный персептрон, Q-обучение, индикатор, торговая стратегия

Введение

В последнее время получили распространение системы электронной биржевой торговли (трейдинговые системы), предусматривающие возможность максимизации дохода от биржевых операций на основе использования методов машинного обучения [1]. К наиболее эффективным методам машинного обучения, используемым для создания модели финансового рынка следует отнести методы, основанные на обучении с подкреплением (reinforcement learning (RL)). В процессе такого обучения агент компьютерной трейдинговой системы (например, торговый робот) должен по результатам анализа текущих биржевых ситуаций принимать решения даже при неполном знании об этих ситуациях. При этом агент принимает от биржевого рынка скалярный сигнал подкрепления, который является положительным, если его действия предположительно выгодны трейдеру и отрицательным в противном случае. Задача агента состоит в выработке действий, увеличивающих сумму сигналов подкреплений на длительном интервале времени. Кроме сигналов подкрепления агент также получает информацию относительно текущего состояния биржевого рынка в форме вектора наблюдений. Одним из наиболее известных RL-

методов является метод, основанный на алгоритме Q-обучения, предложенном для частично наблюдаемых марковских процессов в работе [2]. В этом методе для определения оптимальной стратегии используется итеративно обновляемая Q-функция, исходно представляемая Q-таблицей, в которой задаются пары «состояние-действие». Для аппроксимации Q-функций в прикладных задачах обучения с подкреплением используются, как правило, радиально-базисные сети (РБС), многослойный персептрон (МСП), метод СМАС или непосредственная дискретизация пространства состояний [2]. При этом наибольшее распространение получили здесь искусственные нейронные сети на базе МСП.

Представляется целесообразным рассмотреть задачу выбора параметров МСП, используемых для аппроксимации Q-функций, и разработать схему принятия трейдинговых стратегий на основе МСП и RL-алгоритма.

Постановка задачи

Алгоритм Q-обучения с подкреплением в общем случае идентифицирует дискретный набор состояний окружающей среды S и выполняет одно из возможных действий из множества A . В ответ на действие a_t в момент t при текущем состоянии среды s_t агент системы получает ответный сигнал подкрепления $r_t = r(s_t, a_t)$ от окружающей среды, после чего окружающая среда переходит в новое состояние $s_{t+1} = \delta(s_t, a_t)$. В алгоритме используются функции перехода $\delta(s_t, a_t)$. Функции перехода и подкрепления зависят только от текущего состояний и действий и не зависят от предыдущих состояний и действий.

Задача базового алгоритма Q-обучения – определить и реализовать стратегию $\pi: S \rightarrow A$, основанную на текущем состоянии s_t ; это может быть записано, как $\pi(s_t) = a_t$. Обычно требуется найти стратегию, соответствующую максимальному значению длительной суммы сигналов подкрепления. Чтобы формализовать это, введем функцию $V^\pi(s_t)$, которая является суммой всех сигналов, полученных алгоритмом, стартовавшим из состояния s_t с последующей стратегией π :

$$V^\pi \leftarrow \sum_{i=0}^{\infty} \gamma^i \cdot r_{t+i} \quad , \quad (1)$$

где r_{t+i} – последовательность сигналов подкрепления; γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) – коэффициент дисконтирования который определяет текущую оценку будущих доходов. При $\gamma = 0$ алгоритм отдает предпочтение максимизации текущего дохода. При приближении коэффициента дисконтирования к 1, алгоритм больший вес присваивает будущим доходам.

Оптимальная стратегия, максимизирующая полный доход, начиная с любого состояния, может быть представлена в виде:

$$\pi^* \leftarrow \arg \max_{\pi} V^{\pi}(s), \quad (2)$$

где $s \in S$.

Алгоритм реализации такой стратегии должен максимизировать сумму непосредственного дохода и значение функции подкрепления, уменьшенное коэффициентом дисконтирования:

$$a^* \leftarrow \arg \max_a [r(s, a) + \gamma \cdot V^*(\delta(s, a))]. \quad (3)$$

Уравнение (3) предполагает доступными сигнал подкрепления и функцию перехода. Однако, в большинстве практических задач функция перехода недоступна. В работе [3] был впервые предложен одношаговый алгоритм Q-обучения, не использующий непосредственно функцию перехода. В этом алгоритме для определения оптимальной стратегии используется Q-функция, итеративную процедуру обновления которой можно представить в следующем виде:

$$Q_{t+1}(s, a) \leftarrow r + \gamma \cdot \max_{a' \in A} Q_t(s', a), \quad (4)$$

$$Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a) + \alpha \cdot (r + \gamma \cdot \max_{a' \in A} Q_t(s', a') - Q_t(s, a)), \quad (5)$$

где a – действие, вызывающее переход среды из состояния s в состояние s' ; α ($0 \leq \alpha \leq 1$) – коэффициент нормирования значений Q-функции.

Отметим, что методы аппроксимации таблиц перекодировки Q-функций, применяемые для такой процедуры, должны обеспечивать возможность реализации RL-алгоритмов в режиме on-line и использовать приемлемые для решения практических задач биржевой торговли ресурсы памяти. Таким требованиям отвечают нейросетевые методы, в частности, методы, основанные на использовании МСП.

Обучение МСП может упускать относительно ранее полученную информацию, когда новая информация прибывает в систему. Однако МСП удовлетворяет всем критериям и представляет эффективное решение для алгоритмов RL. Целью настоящей работы является

исследование возможности увеличения дохода пользователей трейдинговых систем на основе использования методов машинного обучения с подкреплением. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- провести анализ методов аппроксимации Q-функций на основе МСП, применимых к электронным финансовым рынкам;
- разработать процедуру выбора и коррекции структуры МСП, используемой для аппроксимации Q-функций в RL-алгоритме;
- разработать структуру системы формирования торговых стратегий, основанных на методах машинного обучения с подкреплением и процедурах настройки аппроксимирующего МСП.

Аппроксимация Q-функций с применением многослойного персептрона

Применение МСП для аппроксимации Q-функции (коннекционистское Q-обучение) имеет следующие преимущества:

- эффективное масштабирование для пространства входов большой размерности;
- возможность обобщения процедуры аппроксимации для больших и непрерывных пространств состояний;
- возможность распараллеливания вычислительного процесса аппроксимации.

Коннекционистское Q-обучение подразумевает, что представление таблицы Q-функции заменяется моделью МСП, где состояния окружающей среды и Q-значения становятся входами и выходами МСП соответственно.

Важное значение имеет выбор конфигурации МСП и алгоритма его обучения. Для реализации процедуры вида (5) после выбора агентом определенного действия веса для соответствующих выходов должны быть обновлены. Например, если агент выбрал действие a_2 в состоянии s_i , должны быть обновлены все веса для выходов $Q(s_i, a_2)$.

В работе [3] предложено осуществлять коррекцию весов нейронной сети методом «обратного переигрывания» (backward replay). При использовании этого метода веса нейронной сети обновляются только при достижении системой поглощающего состояния. Очевидно, что это вызывает необходимость хранения всех пар «состояние-действие», которые встречаются в системе перед достижением поглощающего состояния. Частично преодолеть эту трудность можно, при-

меняя дисконтирование оценок Q -значений, уменьшая их значимость при обратном удалении от поглощающего состояния. Однако последовательность шагов, которые выполняет система, и, соответственно, получаемые оценки могут оказаться неоптимальными

В настоящей статье в качестве алгоритма обучения МПС, применяемого для аппроксимации Q -функции в трейдинговой системе, предлагается использовать модифицированный алгоритм Левенберга-Марквардта. Нетривиальной задачей является при этом определение рациональной конфигурации МПС.

Выбор конфигурации многослойного персептрона

При построении модели МСП выбор ее начальной архитектуры определяется опытом разработчика и наличием априорной информации об аппроксимируемой функции. Обычно начальная конфигурация многослойного персептрона выбирается двухслойной с произвольным числом нейронов в слоях. После проведения экспериментов с различными конфигурациями сети выбирается та, которая дает минимальное значение функционала ошибки и требует меньших вычислительных затрат [4]. Для уменьшения времени получения приемлемой нейросетевой модели предлагается следующий подход. Пусть имеется набор нейросетевых моделей, содержащий N МСП с различными архитектурами. Обучение сетей производится на одном и том же наборе обучения $\mathcal{T} = \{(\underline{x}_i, y_i) : i = \overline{1, n}\} \subset R^d \times R$. Вектор параметров сети обозначим $\underline{w}_j \in R^{p_j}$, а функцию отображения, реализуемую сетью – через $\eta_j(\underline{x}, \underline{w}_j), j = \overline{1, N}$. В качестве критерия дискриминации нейросетевых моделей выберем среднеквадратичную ошибку минимум которой обеспечивается соответствующей настройкой параметров сети по алгоритму Левенберга-Марквардта.

$$e_j(\underline{w}_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - \eta_j(\underline{x}_i, \underline{w}_j)]^2, \quad (6)$$

Пусть для МСП1 и МСП2 значения параметров $\underline{w}^a \in R^{p_1}$ и $\underline{w}^b \in R^{p_2}$ определяют положение локальных минимумов функций ошибки $e_1(\underline{w}^a)$ и $e_2(\underline{w}^b)$ соответственно. Предположим, что значения параметров сети $\underline{w}_1 \in R^{p_1}$ и $\underline{w}_2 \in R^{p_2}$, полученные в ходе обучения, достаточно близки к локальным минимумам, и можно использовать квадратичную аппроксимацию функции ошибки:

$$e_a(\underline{w}_1) = e_a + \frac{1}{2} \tilde{w}_1^T H_a \tilde{w}_1; \quad e_b(\underline{w}_2) = e_b + \frac{1}{2} \tilde{w}_2^T H_b \tilde{w}_2, \quad (7)$$

где $e_a = e_1(\underline{w}^a)$, $e_b = e_2(\underline{w}^b)$, $\tilde{w}_1 = \underline{w}_1 - \underline{w}^a \in \mathbb{R}^{p_1}$, $\tilde{w}_2 = \underline{w}_2 - \underline{w}^b \in \mathbb{R}^{p_2}$,
 $H_a = \nabla^2 e_1(\underline{w}^a)$, $H_b = \nabla^2 e_2(\underline{w}^b)$.

Теперь критерий дискриминации нейросетевых моделей можно сформулировать следующим образом: МСП1 должна быть удалена из набора нейросетевых моделей если:

$$e_a - e_b = [e_a(\underline{w}_1) - e_b(\underline{w}_2)] - \frac{1}{2} [\tilde{w}_1^T H_a \tilde{w}_1 - \tilde{w}_2^T H_b \tilde{w}_2] > 0. \quad (8)$$

Таким образом, процедура дискриминации моделей МСП, выбираемых для коннекционистского обучения, состоит в выполнении следующих операций:

- задаются: набор из N МСП различной архитектуры, максимальное число циклов обучения сети k , период дискриминации $m < k$;
- каждые m циклов обучения проверяются условия (8) и удаляются все МСП, для которых эти условия выполняются.

Критерием останова алгоритма является достижение максимального числа циклов обучения k .

Структура системы определения торговых стратегий

Общая структура системы выбора торговых стратегий с использованием предлагаемого подхода представлена на рис.1.

При пуске системы загруженные данные передаются в модуль анализа текущей ситуации на биржевом рынке, который выбирает наиболее эффективные индикаторы на текущее время и оценивает необходимость коррекции МСП, используемого для определения Q -функций. Когда новые данные поступают в систему с сервера, рассчитываются значения индикаторов и используются для определения текущего состояния окружающей среды. Затем, основываясь на текущем состоянии, модуль RL дает рекомендации для трейдера и обновления Q -значений с применением МСП.

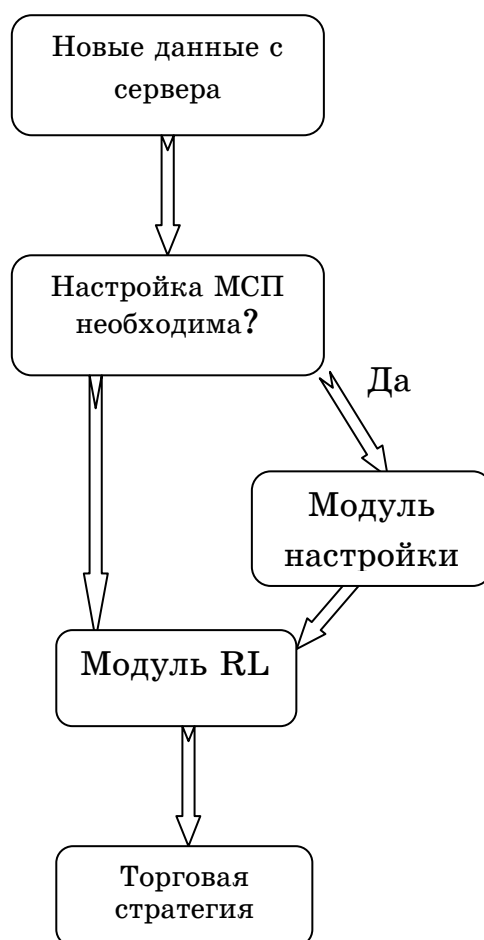


Рисунок 1 - Общая схема выбора стратегии

Результаты тестового моделирования

Программное обеспечение рассмотренной системы ориентировано в основном на работу для торговли на рынке FX. При тестировании трейдинговой системы были, в частности, использованы данные FX-рынка по суточному обменному курсу валют EUR/USD (www.cqg.com). Для оценки эффективности разработанных алгоритмических и программных средств биржевой торговли был выбран коэффициент K_p , характеризующий (в процентном выражении) отношение торговых операций системы с положительным исходом к общему числу проведенных операций. В результате применения модели МСП для RL-обучения в тестируемой системе был получен положительный эффект (увеличение K_p на 2% -4% для различных серий тестовых экспериментов) по сравнению с применением динамических Q-таблиц.

Выводы

Разработанная трейдинговая компьютерная система, основанная на использовании моделей МСП для аппроксимации Q-функций в RL-алгоритме, позволяет принимать эффективные решения по определению стратегий в трейдинговых системах. Результаты тестового моделирования программных модулей системы в онлайн-режиме подтверждают ее работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dempster M. Intraday FX trading: An evolutionary reinforcement learning approach. Intelligent data engineering and automated learning./ M.Dempster, Y.Romahi// Proceedings of the IDEAL 2002 International Conference. – 2002.– P. 347-358.
2. Hryshko A. An Implementation of Genetic Algorithms as a Basis for a Trading System on the Foreign Exchange Market./ A.Hryshko, T. Downs// Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation. – 2003. – P.1695-1701.
3. Watkins S., Dayan P. Q-Learning./ S. Watkins, P. Dayan // In: Machine Learning 8, Kluwer Academic Publisher, Boston. – 1992.– P. 279-292.
4. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей./ О.Г. Руденко, Е.В. Бодянский// – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2002. – 317с.

Т.Б. Шатовская, И.В. Климов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ «ЦИФРОВОЙ ГРАЖДАНИН»

Аннотация. В развитых странах оповещения о локальных угрозах (взрыв на опасном производстве, катастрофы на транспорте и т.п.) передается через радио и телевидение. В то же время существуют такие технические возможности, что любой свидетель происшествия может сообщить о наступлении события и оповестить население и специальные службы. Таким образом, очень актуальна разработка индивидуальной системы быстрого оповещения об экстренных ситуациях в городах Украины, которая позволит в информационном обществе существенно повысить его информатизацию, безопасность, сэкономить средства на ликвидацию последствий аварий без внесения глобальных изменений в существующие информационные структуры и без существенного финансовой нагрузки на членов общества.

Ключевые слова. Необычные ситуации, мобильная система оповещения, оперативное реагирование

Постановка задачи. Сейчас в мире очень активно развиваются новые цифровые технологии, но в своем большинстве городские службы остаются на старом уровне развития, поэтому этот проект один с шагов до вывода служб социального обслуживания города на новый, цифровой, уровень.

Цель. Основная цель проекта создать интерактивную социальную сеть с целью улучшения условий жизни в городе, оповещение о событиях и обработка информации касательно их, и улучшения уровня социально активных граждан.

Введение. В нашем регионе есть проблема низкой социальной активности граждан. В большинстве случаев граждан не волнует разные чрезвычайные происшествия в городе, если они не затрагивают именно их, а социальные службы, которые направлены на улучшение жизни населения не всегда исполняют свои обязательства. Реше-

ние этого вопроса требует существенных денежных ресурсов и времени. Система предупреждения чрезвычайных ситуаций значительно улучшит взаимодействие граждан с социальными службами и даст возможность гражданам сообщить и узнать о последних событиях в городе.

Система представляет собой электронную доску объявлений, и каждый человек имеет возможность обратиться со своей проблемой. Сервер немедленно отреагирует на новую заявку и уведомит социальную службу, МЧС, милицию, скорую помощь или ЖЭК, в зависимости от сообщения. Каждая заявка содержит дополнительную информацию, которая дает возможность более четко выявить проблему, а именно: указано точное время и дата подачи заявки, на карте отображаются координаты, с какой именно точки было отправлено сообщение, если человек не имеет возможности отправить координаты, она может просто указать адрес. Так же каждая заявка имеет фотографию с места происшествия, которая подтверждает наличие актуальность и правоту заявки. Все заявки отмечаются на интерактивной карте.

С помощью системы будет возможно отслеживать новые события в регионе, время реагирования служб и отслеживать факт решения проблемы.

Так же система может предупредить влияние чрезвычайных ситуаций большого радиуса, например обширного пожара или отравления воздуха. Если случилось такое событие – пользователь, если включит функцию, получит оповещение, в таком случае он может удержаться от посещения области, в которой случилась беда, или предупредить родных, которые могут находиться недалеко от данного региона.

С помощью системы можно набрать волонтеров для устранения последствий чрезвычайных ситуаций или стихийных бедствий с помощью оповещений на сайте. Каждый может помочь своему городу. Такие мероприятия будут способствовать увеличению количества социально активных людей.

Так же можно использовать систему для уведомления про недобросовестную работу социальных служб, МЧС, ЖЭК, милиции, скорой помощи и тд. Пользователи могут уведомлять про свалки мусора на дорогах, или неисправности инженерных систем зданий, не-

исправное освещение дворовых площадок и так далее. С помощью системы можно будет отслеживать сроки исправления ситуации.

Система разработана с расчетом на площадь одной области, и может гибко подстраиваться под особенности каждого региона. Администратор системы может указывать специальные места и области, их название, адреса, координаты и телефоны.

Дополнительно система может использоваться проверяющими службами для контроля качества исполнения функций специальных служб, ЖЭКов, МЧС и тд, так как система сохраняет точки отсчета времени и контрольные точки при изменении статуса заявки.

Данная система должна улучшить уровень обмена информации между операторами служб и гражданами. Сейчас сообщения о чрезвычайные ситуации передаются через телефонную связь, которая подвергается влиянию различных факторов, которые уменьшают качество связи. Больше того, отсутствует сохранение информации, которая приходит к операторам. Наша система запоминает текст, изображение и координаты, которые уменьшают человеческий фактор при принятии заявки, и дает больше полезных данных оператору. Кроме того, все данные сохраняются на сервере и имеют обратную связь с социальными службами, МЧС, милицией, больницей и тд.

Описание системы. Система представляет клиент-серверное приложение, состоящее из сайта и мобильного приложения.

Мобильное приложение. Используется в качестве клиента и предназначено для отправки новых заявок на сайт.

Базовые функции mobile-программы:

- Авторизация в системе через логин и пароль или через номер;
- Возможность анонимного использования;
- Добавление фото, видео, аудио материалов с помощью камеры;
- Добавления фото, видео, аудио материалов с помощью файлового менеджера;
- Добавление названия заявки;
- Добавление описания заявки;
- Добавление координат события, если в устройстве присутствует GPS-модуль;

- Добавление адреса события, если в устройстве отсутствует GPS-модуль;

- Установка даты;
- Отправление заявки на сайт;
- Контроль над ошибками.

В связи с особенностями архитектуры различных мобильных устройств, разработана система контроля над ошибками приложения.

Функции системы контроля над ошибками:

- Перед началом, каких либо действий пользователя, система сканирует мобильное устройство на наличие модулей необходимых для оптимальной работы приложения;

- Проверка интернет соединения при запуске программы;
- Обработка ошибок приложения в условиях многопоточности для предотвращения исключительных ситуаций на этапе отправки заявки;

- Интерактивное взаимодействие с пользователем в случае неисправности или неактивности GPS-модуля.

Веб-приложение. Серверная часть предназначена для получения сообщений и отображения их на сайте.

Базовые функции web-программы:

- Авторизация пользователей;
- Функция представления заявки про чрезвычайную ситуацию;
- Отображения присланных заявок на Google map;
- Отображение присланных заявок в списке;
- Анализ заявок;
- Фильтрация заявок;
- Модерация заявок;
- Возможность комментирования заявок;
- Система уровня доверия (для отсеивания ошибочных заявок).

Для управления сайтом была разработана панель администрирования.

Функции администратора:

- Указывать область, к которой относится система;
- Добавлять и редактировать специальные пункты;
- Редактировать типы пунктов;

- Редактировать статусы заявок;
- Добавлять и редактировать новости;
- Добавлять и редактировать странички;
- Добавлять и редактировать меню сайта;
- Редактировать шаблоны меню;
- Редактировать пользователей и конфигурировать авторизацию;
- Редактировать группы пользователей;
- Изменять пароли от панели администрирования.

Используемые технологии:

1. Google Android SDK v2.3;
2. Java ME SDK v3.0;
3. Nokia Mobile SDK v1.0.2;
4. Html 4;
5. CSS 3;
6. Ajax;
7. PHP 5;
8. MySQL.

Вывод. Проведя параллели с зарубежными аналогами, можно сделать вывод, что система качественно изменит жизнь ее пользователей и их окружающих. Реагирование на происшествие будет занимать минимум времени, а это означает, что жизни людей, попавших в беду, будут спасены. Так же не стоит забывать о своевременности и качестве проведенных работ. Ведь с системой «DCITIZEN» контроль выполнения обязанностей МЧС, скорой помощи и других городских служб станет простым и легким.

ЛИТЕРАТУРА

1. Страница разработчиков Google Android [электронный ресурс]: <http://developer.android.com/index.html>
2. Документация по Android OS [электронный ресурс]: <http://developer.android.com/guide/index.html>
3. Страница разработчиков Java ME [электронный ресурс]: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javame/overview/index.html>
4. Документация по Java ME [электронный ресурс]: <http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/wtoolkit/>
5. Документация по Nokia SDK [электронный ресурс]: <http://www.forum.nokia.com/Develop/Java/>
6. Документация по PHP [электронный ресурс]: <http://php.net/manual/en/index.php>
7. Страница Веб-сервера PHP [электронный ресурс] <http://www.denwer.ru/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГЛОМЕРАТИВНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РУБРИКАЦИИ ТЕКСТОВ

Статья посвящена построению рубрикатора с использованием агломеративной кластеризации. В качестве критерия близости используется сводный коэффициент обобщенной корреляции в предположении, что случайные величины имеют нормальное распределение и взаимосвязь между ними вычисляется в соответствии с критерием Стьюдента.

Ключевые слова: обработка текстов, кластеризация, автоматическая рубрикация, корреляция слов

Введение

Человеку присуще умение и стремления все раскладывать в определенном порядке, упорядочивая свои знания и представления об окружающем мире. На первом этапе упорядочения тех или других объектов происходит их объединения в качественно однородные группы, то есть группирование. На более высоком уровне развития процесса исследования объектов они делятся на классы на основе общности и расхождении присущих им признаков, которые отражают взаимосвязи между классами, то есть классифицируются. В результате создается система классификации. В классификации отражается суть объектов, которые изучаются на основе общих признаков и отношений между ними. Классификация имеет большое значение в библиотечно-библиографической деятельности. В библиотеках постоянно возникает необходимость распределять на классы (группы) документы на основе их похожести и различия между ними. Классификационные системы, в которых предполагается распределение документов по смыслу, делятся на систематические и предметные. В систематических классификационных системах основой деления является область знания, а в предметных - непосредственно сам предмет. Ведущее место принадлежит систематическим системам классификации. Такие системы служат примером естественной системы класси-

фикации, так как распределение документов в них (систематизация) осуществляется по важным признакам - по областям знаний на основе содержания документов. Эти системы используются для организации систематических каталогов и картотек. Важное место в систематизации занимают рубрики. Рубрикатор воссоздает отраслевое распределение народного хозяйства, распределение по научным дисциплинам, а также по комплексным межотраслевым проблемам (охрана окружающей среды, охрана работы, исследования космического пространства и др.), что отвечает современной тенденции дифференциации и интеграции разных областей знаний.

Переход на использование безбумажных, электронных носителей информации подразумевает использование автоматизированных методов классификации и систематизации поступающих документов, таким образом, все это делает задачу автоматизации методов рубрикации актуальной.

Постановка задачи

Формально рубрикатор представляет собой дерево, каждый последующий уровень которого детализирует область, описанию которой посвящен данный документ. При этом каждый уровень характеризуется одним или несколькими словосочетаниями. Заметим, разбиения этих словосочетаний на множества ключевых слов, нарушает идеологию рубрики, например, сочетания «непрерывная функция» и «непрерывная разливка» определяют совершенно разные рубрики. Таким образом, ставится задача автоматического определения термов (словосочетаний), характеризующих данную группу документов и по наборам полученных термов определение соответствующих рубрик. Решению данной проблемы посвящена данная статья.

Пусть $\mathcal{Z} = \{d_i\}_{i=1}^n$ множество документов, определенных набором наиболее характерных слов $d_i = \{w_1^i, w_2^i, \dots, w_{m_i}^i\}$, где w_k^i принимает значение из заданного множества W . Задача кластеризации состоит в построении множества $C = \{c_v\}_{v=1}^N$ и отображения $F: \mathcal{Z} \rightarrow C$ заданного множества на множество кластеров. Кластер содержит объекты из $\mathcal{Z}$ похожие (по заданному критерию) друг на друга $d_i, d_j \in c_v \Rightarrow \text{dis}(d_i, d_j) < \varepsilon$, где $\text{dis}(a, b)$ мера близости (расстояние) меж-

ду двумя объектами, а ε - максимальное значение порога, формирующее один кластер.

Условно методы кластеризации разбиваются на два класса - иерархические и неиерархические [1, 2]. В неиерархических алгоритмах является наличие условия останова и количества кластеров. Основой этих алгоритмов является гипотеза о сравнительно небольшом числе скрытых факторов, которые определяют структуру связи между признаками. Иерархические алгоритмы не завязаны на количестве кластеров, эта характеристика определяется по динамике слияния и разделения кластеров, во время построения дерева вложенных кластеров (дендрограммы). В свою очередь, иерархические алгоритмы делятся на агломеративные, которые строятся путем объединения элементов, то есть уменьшением количества кластеров, и дивизимные, основанные на разделении (расщеплении) существующих групп (кластеров). Задаче автоматической рубрикации посвящены работы [4,5], кластеризация текстовых документов на основе неиерархических алгоритмов подробно рассматривалась в работах [6,7,8].

Основные результаты

Применим идею агломеративной кластеризации к формированию устойчивых словосочетаний, характеризующих данную группу документов.

Каждому слову $w_k \in W$ ставится в соответствие вектор $M_k = \{m_1^k, m_2^k, \dots, m_n^k\}$, где m_i^k частота встречи этого слова в документе d_i . Построим дерево, на нижнем уровне которого будут пары слов (w_ν, w_μ) (при этом $(w_\mu, w_\nu) = (w_\nu, w_\mu)$), характеризующиеся коэффициентом обобщенной корреляции

$$r_{\nu,\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i^\mu - \bar{m}^\mu)(m_i^\nu - \bar{m}^\nu) \omega(m_i^\mu, m_i^\nu, \bar{m}^\mu, \bar{m}^\nu)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\mu - \bar{m}^\mu)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\nu - \bar{m}^\nu)^2}}, \quad \bar{m}^\nu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i^\nu, \quad \bar{m}^\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i^\mu.$$

Здесь $\omega(m_i^\mu, m_i^\nu, \bar{m}^\mu, \bar{m}^\nu)$ представляет собой весовую функцию общего вида, которая может зависеть как от конкретных элементов векторов частот, так и от каких-то их общих характеристик (например, норм векторов).

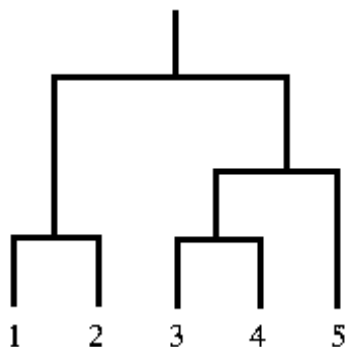


Рисунок 1 - Дерево агломеративной кластеризации

Среди всех элементов нижнего уровня выберем элемент с наибольшим коэффициентом обобщенной корреляции. Пусть это будет элемент (w_v, w_μ) . Для всех (w_μ, w_ζ) ($\zeta \neq v$) построим обобщенную корреляционную матрицу

$$R_{v,\mu,\zeta} = \begin{pmatrix} r_{v,v} & r_{v,\mu} & r_{v,\zeta} \\ r_{\mu,v} & r_{\mu,\mu} & r_{\mu,\zeta} \\ r_{\zeta,v} & r_{\zeta,\mu} & r_{\zeta,\zeta} \end{pmatrix}.$$

Через

$$\Lambda = R_{v,\mu,\zeta}^{-1} = \begin{pmatrix} \lambda_{v,v} & \lambda_{v,\mu} & \lambda_{v,\zeta} \\ \lambda_{\mu,v} & \lambda_{\mu,\mu} & \lambda_{\mu,\zeta} \\ \lambda_{\zeta,v} & \lambda_{\zeta,\mu} & \lambda_{\zeta,\zeta} \end{pmatrix}$$

Обозначим матрицу, обратную к ней. В качестве меры корреляции между w_v и w_μ, w_ζ , будем использовать сводный коэффициент обобщенной корреляции

$$r_{v,\mu,\zeta} = \sqrt{1 - \frac{1}{r_{v,v}\lambda_{v,v}}}.$$

Среди всех $r_{v,\mu,\zeta}$ ($\zeta \neq v, \mu$) выберем коэффициент с наибольшим значением. Предполагая, что случайные величины имеют нормальное распределение, взаимосвязь между случайными величинами вычисляется в соответствии с критерием Стьюдента

$$\xi_{v,\mu,\zeta} = 0.5 \ln \left(\frac{(1 + r_{v,\mu})(1 - r_{v,\mu,\zeta})}{(1 - r_{v,\mu})(1 + r_{v,\mu,\zeta})} \right) \sqrt{\frac{n-3}{2}}.$$

И в случае, если для заданного порога ε выполняется условие $\xi_{v,\mu,\zeta} > \varepsilon$, то из элементов нижнего уровня удалим (w_v, w_μ) и (w_μ, w_ζ) .

Полученная тройка слов w_v и w_μ, w_ζ формирует терм, используемый в дальнейшем для определения подходящей рубрики. Если же это условие не выполняется, то выбираем пару (w_i, w_j) с коэффициентом обобщенной корреляции предшествующим $r_{v,\mu}$.

Далее этот процесс повторяем, в результате получаем набор термов, состоящих из неопределенного числа слов, определяемых только порогом ε сводного коэффициента корреляции.

Для определения корневого уровня дерева рубрикации, для всех термов (словосочетаний) корневого уровня рубрик, нужно найти соответствующий терм из построенного дерева с самым большим сводным коэффициентом обобщенной корреляции. Для определения следующего уровня вложения выбирается множество $\mathfrak{K}$ термов содержащих хоть одно слово из термина соответствующего корневному уровню. Для соответствующих рубрик первого уровня вложения находим соответствующий терм из $\mathfrak{K}$ с самым большим сводным коэффициентом корреляции. Далее этот процесс повторяется требуемое число раз, либо, пока не закончится дерево, определяемое значением порога ε .

Заметим, что при условии $\omega(m_i^\mu, m_i^\nu, \bar{m}^\mu, \bar{m}^\nu) \equiv 1$ коэффициент обобщенной корреляции совпадает с коэффициентом корреляции Пирсона. Результаты, полученные в этом случае уступают по своей эффективности с при применением весовых функций вида

$$\omega(m_i^\mu, m_i^\nu, \bar{m}^\mu, \bar{m}^\nu) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\mu - \bar{m}^\mu)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\nu - \bar{m}^\nu)^2}$$

и

$$\omega(m_i^\mu, m_i^\nu, \bar{m}^\mu, \bar{m}^\nu) = 2^n \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\mu - \bar{m}^\mu)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\nu - \bar{m}^\nu)^2} + \varepsilon} + \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\nu - \bar{m}^\nu)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i^\mu - \bar{m}^\mu)^2} + \varepsilon} + \varepsilon \right)^{-n}$$

Данный вид весовой функции позволил выделять взаимосвязанные термины при сравнительно небольшом (по сравнению со многими другими весовыми функциями) шуме.

Здесь ε - небольшое число, например 10^{-6} , чтобы избежать деления на ноль. В этом случае наибольший вес (единица) появлялся у тех терминов, которые встречаются с одинаковой частотой. Параметр

ром n можно регулировать крутизну наклона характеристики. Такая весовая функция позволяет выделять слова, связанные связями типа "синоним", "антоним". В результате получается достаточно много шумовых данных, однако выделив связи типа «общее-частное», можно отфильтровать только те связанные термины, которые также имеют общих родителей.

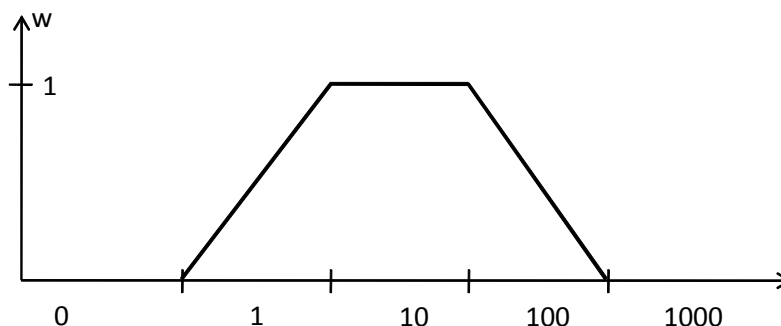


Рисунок 2 - Пример используемой весовой функции

В качестве еще одного примера рассмотрим кусочно-линейную функцию, изображенную на рисунке 2. В этом случае аргументом выступает отношение норм векторов частот. Данный вид весовой функции позволяет выделить связи типа «общее-частное» (голонимы и гиперонимы), поскольку для них характерно, что общий термин встречается на порядок-два чаще, чем специализированный.

Выводы

Результаты работы были внедрены в поисковике HulbeeSearcher (www.hulbee.com) и показали высокую эффективность в проведении автоматической рубрикации документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bradley P. Scaling Clustering Algorithms to Large Databases / P. Bradley, U. Fayyad, C. Reina // Proc. 4th Int'l Conf. Knowledge Discovery and Data Mining.- AAAI Press: Menlo Park (Calif.), 1998.
2. Zhang T. An Efficient Data Clustering Method for Large Databases / T. Zhang, R. Ramakrishnan, M. Birch Livny // Proc. ACM SIGMOD Int'l Conf. Management of Data.- ACM Press: New York, 1996.
3. Киселев М.В. Метод кластеризации текстов, учитывающий совместную встречаемость ключевых терминов, и его применение к анализу тематической структуры новостного потока, а также ее динамики / М.В. Киселев, В.С. Пивоваров, М.М. Шмудевич // Междунар. сб. науч. раб.: Интернет-математика 2005: автоматическая обработка веб-данных. – М.: Яндекс, 2005.

4. A Concept Space Approach to Addressing the Vocabulary Problem in Scientific Information Retrieval: An Experiment on the Worm Community System / Chen Hsinchun, D. Ng Tobun, Joanne Martinez, Bruce R. Schatz // Journal of the American Society for Information Science .- 1997 .- 48(1) .- P. 7-31.
5. Chen H. An Algorithmic Approach to Concept Exploration in a Large Knowledge Network (Automatic Thesaurus Consultation): Symbolic Branch-and-Bound Search vs. Connectionist Hopfield Net Activation / Chen Hsinchun, D. Ng Tobun // Journal of the American Society for Information Science .- 1995 .- 46(5) .- P. 348-369.
6. Шумейко А.А. Использование генетических алгоритмов в задачах классификации текстов / А.А. Шумейко, С.Л. Сотник, М.В. Лысак // Системные технологии .- Днепропетровск, 2009 .- 1(60) .- С. 125-138.
7. Шумейко А.А. Итерационный метод построения векторного классификатора / А.А. Шумейко, С.Л. Сотник // Математичне моделювання .- ДДТУ, 2009 .- №1(20) .- С. 7-11.
8. Shumeyko A. Using Genetic Algorithms for Texts Classification Problems / A. Shumeyko, S. Sotnik // Anale.Seria Informatica .- 2009 .- Vol.VII fasc.1 .- P. 325-340.

Ю.В. Бабенко, А.И. Михалев

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКОГО И ХАОТИЧЕСКОГО ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе проведено исследование работы ГА при использовании различных генераторов случайных чисел и приведена сравнительная характеристика классического генетического алгоритма и его модификации, основанной на замене стохастического оператора мутации его хаотическим прототипом.

Ключевые слова: ГА - генетический алгоритм, глобальная оптимизация, генератор псевдослучайных чисел, многоэкстремальная функция, хаотический генератор Лоренца

Введение

При исследовании прикладных задач физики, химии, биологии и других наук, часто возникает необходимость в численном решении задач оптимизации функций одной или многих переменных. К самым известным и популярным аналитическим методам решения оптимизационных задач относятся такие методы, как метод Ньютона, метод сопряженных градиентов, и их многочисленные модификации. Однако их использование для оптимизации многоэкстремальных функций неприемлемо. В этой связи для оптимизации многоэкстремальных функций, а также функций, свойства которых не определены или не известны, используют эволюционные алгоритмы [1].

Одним из алгоритмов эволюционного поиска, на практике доказавшего свою эффективность, является генетический алгоритм (ГА), идея которого была выдвинута Дж. Холландом [1]. ГА имитирует основные эволюционные процессы: селекцию, репродукцию и мутацию хромосом. Подобно тому, как в процессе эволюции выжива-

ют наиболее приспособленные особи, ГА производит поиск «хороших» хромосом без использования какой-либо дополнительной информации о характере решаемой задачи [2, 3].

Постановка задачи

В данной работе ставится задача исследования процессов глобальной оптимизации многоэкстремальных функций при использовании различных генераторов случайных чисел, проводится сравнение классического ГА и его хаотической модификации. В качестве алгоритма решения оптимизационной задачи предлагается использовать классический ГА и ГА с хаотическим механизмом в мутации, именуемый далее как хаотический ГА. Существенная особенность данной модификации заключается в замене оператора мутации на оператор сложения кода особи со взвешенными значениями некоторой хаотической функции [6].

В качестве генерации хаоса, порождающего искомую функцию, был рассмотрен генератор хаоса с аттрактором Лоренца, задаваемый уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \sigma(y - x), \\ \frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y, \\ \frac{dz}{dt} = xy - \beta z, \end{cases} \quad (1)$$

где x , y , z – переменные, определяющие мгновенное состояние системы, а ρ , σ и β – параметры динамической системы.

Как известно, хаотический генератор Лоренца является 3-мерной динамической системой, которая характеризуется хаотическими потоками, которые известны своими лемнискат - формами [4].

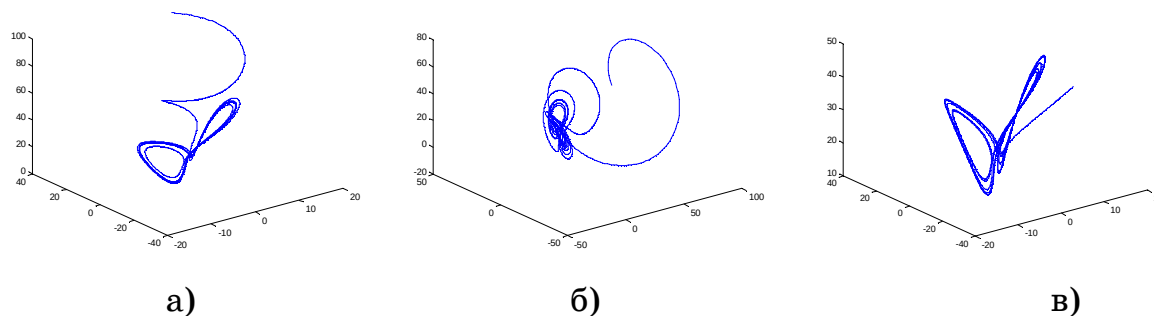


Рисунок 1 – Хаотический генератор Лоренца с параметрами $\sigma = 10$, $\rho = 28$, $\beta = 8/3$ при разных начальных значениях

Сравнение результатов работы ГА и его хаотической модификации проводилось на следующих многоэкстремальных функциях.

Функция Швевеля:

$$F(x) = 418,9829n - \sum_{i=1}^n x_i \sin \sqrt{|x_i|}. \quad (2)$$

Здесь координаты $x_1, x_2, \dots, x_n$ изменяются в пределах $[-500, 500]$. Известно, что минимум функции Швевеля равен 0 и достигается в точке $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 420,9687$. Локальный минимум, близкий по величине к глобальному минимуму, достигается в точке, одна из координат которой равна -302.5232, а другие - 420.9687. Ниже приведен график функции Швевеля двух переменных.

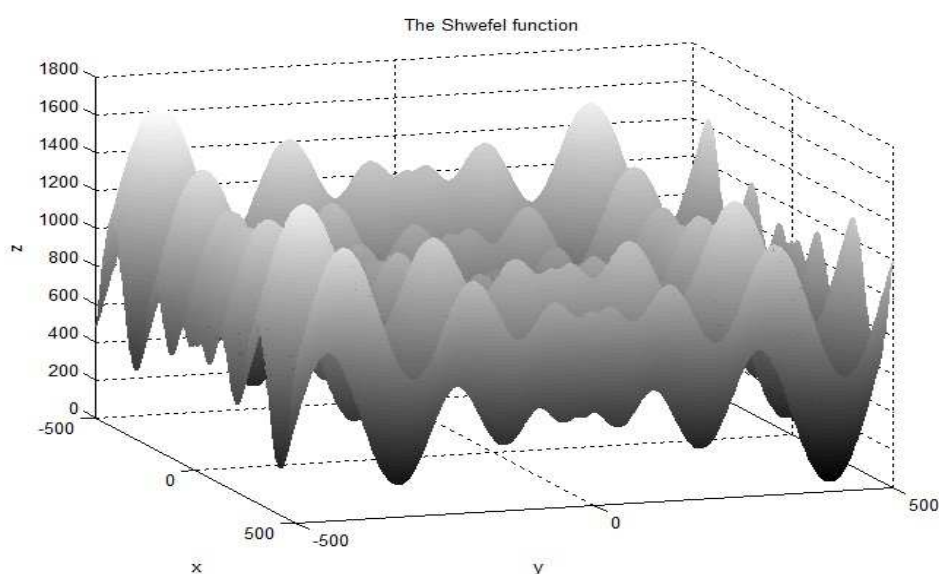


Рисунок 2 – График функции Швевеля двух переменных
Функция Растригина:

$$F(x) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i). \quad (3)$$

Здесь n – размерность вектора поиска, а координаты $x_1, x_2, \dots, x_n$ точки изменяются в пределах $[-5, 12, 5, 12]$. В данном интервале функция Растригина имеет 96 локальных экстремумов. Глобальный минимум находится в точке $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$. Приведем график функции Растригина.

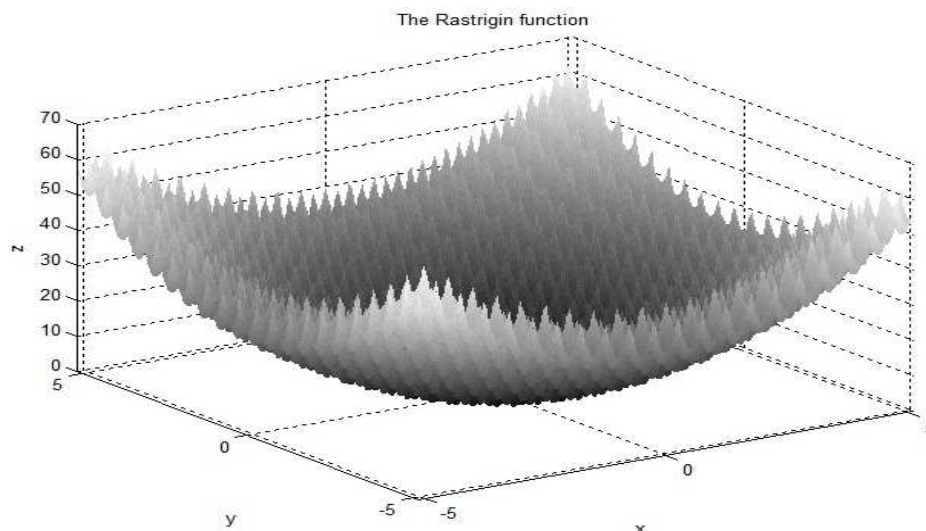


Рисунок 3 – График функции Растригина двух переменных

Функция Гривонка: схожая с функцией Л.А. Растригина функция Андреаса Гривонка имеет триллион локальных экстремумов:

$$F(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos \frac{x_i}{\sqrt{i}}, \quad x_i \in [-600, 600]. \quad (4)$$

Известно (см., например, [1]), что глобальный минимум, равный 0, достигается в точке $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$.

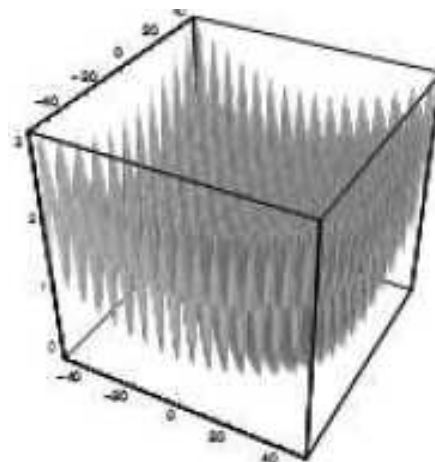


Рисунок 4 – График функции Гривонка двух переменных

Исследование алгоритмов поиска экстремумов

Классический и хаотический ГА были реализованы в среде программирования Matlab.

В алгоритмических языках для имитации равномерно распределенной на отрезке $[0,1]$ случайной величины реализованы те или

иные генераторы «псевдослучайных» чисел [5]. Так, в среде Matlab программно реализовано 3 вида генераторов: генератор Мерсена (стандартный), линейный конгруэнтный генератор и генератор Фибоначчи с запаздыванием. Все они, а также отдельно исследованный линейный конгруэнтный генератор (Urand) [5], были использованы для работы ГА.

Для реализации хаотического ГА был использован генератор Лоренца с параметрами $\sigma = 10$, $\rho = 28$, $\beta = 8/3$.

Ниже в таблицах 1–3 приведены результаты работы ГА на тестовых многоэкстремальных функциях – функциях Швепеля, Растргина и Гривонка. Для каждого из генераторов псевдослучайных чисел, а также для хаотического ГА, было проведено по 5 экспериментов. В каждом эксперименте участвовало 1000 особей, эксперимент проводился в течении 50 поколений, а начальное значение коэффициента мутации было выбрано равным 0,3.

В таблицах приняты следующие условные обозначения:

А – минимальное из найденных значений функции;

Б – координаты точки найденного глобального минимума;

В – ожидаемое минимальное значение.

Таблица 1

Минимизация функции Швепеля генетическим алгоритмом

	Генератор Мерсена	Линейный конгруэнтный генератор	Генератор Фибоначчи	Генератор Urand	Хаотический генератор Лоренца
А	6,3404e-05	4,8578e-05	2,0523e-04	4,1159e-05	17,7873822
Б	(420,97516; 420,95630; 420,97077)	(420,9739; 420,97426; 420,9738)	(420,9677; 420,9324; 420,9689)	(420,9679; 420,9727; 420,9715)	(432,7979; 422,1375; 421,05388)
В	8,662e-04	3,897e-04	6,6388e-04	0,03655	187,728475

Таблица 2

Минимизация функции Растргина генетическим алгоритмом

	Генератор Мерсена	Линейный конгруэнтный генератор	Генератор Фибоначчи	Генератор Urand	Хаотический генератор Лоренца
А	0	0	0	0	2,4894
Б	(5,012e-10;0; -5,5005e-37)	(0;1,7852e-48;0)	(6,0759e-10; -7,468e-39;0)	(-6,5659e-10; 4,6789e-10;0)	(-0,4262; 0;-1,0310)
В	0	0	0	0	28,4799

Минимизация функции Гривонка генетическим алгоритмом

	Генератор Мерсена	Линейный конгруэнтный генератор	Генератор Фибоначчи	Генератор Urand	Хаотический генератор Лоренца
А	0	0	0,0074	0	1,0686
Б	(0;0;0)	(0;0;0)	(3,1321; 4,44331;0)	(-5,36879e-09; 0;1,2333e-08)	(2,8218; 26,33497; 36,21671)
В	0,00601	0,005908	0,01187	0,00739888	1,97204445

Анализ полученных результатов

Из таблиц 1–3 видно, что наилучшим образом глобальный минимум рассмотренных функций дали алгоритмы, основанные на использовании генератора Мерсена и линейного конгруэнтного генератора. Следует отметить, что для функций Швевелля и Растригина, ГА при каждом из генераторов псевдослучайных чисел практически одинаково сходил к минимуму. В то же время при минимизации функции Гривонка только генератор Urand позволил получить быструю сходимость к минимуму.

Что касается хаотического ГА, основанного на использовании генератора Лоренца, то показанные им плохие результаты можно отнести на счет малого числа его популяций.

Выводы

В данной работе проведен сравнительный анализ работы ГА для трех генераторов случайных чисел и хаотического ГА оптимизации функций Растригина, Швевеля и Гривонка. Все эти функции имеют большое число локальных минимумов. Это делает невозможным применение стандартных аналитических методов поиска глобального минимума. Как показано на примерах, классический ГА хорошо справляется с решением задачи глобальной оптимизации, хотя и имеет разные скорости определения глобального минимума при использовании различных генераторов случайных чисел, в частности, при минимизации функции Гривонка только генератор Urand показал наилучшую сходимость к минимуму. В то же время, хаотическая модификация ГА, основанная на применении хаотического генератора Лоренца в механизме мутации – требует дальнейшего исследования. Не следует ожидать высокого быстродействия от хаотического ГА. Напротив, такой алгоритм показывает свою эффективность при

оптимизации зашумленных многоэкстремальных функций и/или в условиях полной неопределенности с точки зрения задания самой функции, например, в задачах экстремального управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы. Учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 с.
2. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л.: Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Горячая линия – Телеком, 2006. – 383 с.
3. Кузнецов С. П. Динамический хаос (курс лекций). – М.: Физматлит, 2001. – 296с.
4. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М: Постмаркет, 2000. – 352 с.
5. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М: Издательство «Мир», 1980. – 279 с.
6. Михальов О.І., Гуда А.І., Дмитрієва І.С. Особливості моделювання та ідентифікації хаотичної системи Ресслера зі збуреннями. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(67). – Днепропетровск, 2010. – С.114 – 118.

А.И. Михалев, Р.А. Сухомлин

ОЦЕНИВАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ РИТМ-СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статья посвящена оцениванию хаотических ритм-сигналов. В качестве примера динамической системы, на выходе которой наблюдаются хаотические ритм-сигналы, рассматривалась сердечно-сосудистая система человека. Проанализирована эффективность применения ряда методов оценивания хаотических ритм-сигналов для диагностирования сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: хаотический ритм-сигнал, динамическая система, сердечно-сосудистая система, диагностическая система

Введение. В промышленности широко используются технологические объекты управления роторного типа: турбо- и гидроагрегаты, вентиляционные установки, мощные электрические машины и т.п. При этом основным условием сокращения эксплуатационных затрат является перевод этих объектов на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию, что требует периодического проведения процедуры технической диагностики.

В свою очередь, процессы в упомянутых объектах (вибрации, акустический шум) часто имеют ритмический характер (характер ритм-сигналов). Исследование закономерности ритмичности процессов может стать основой для разработки методов контроля параметров объектов рассматриваемого класса в аварийный и прежде всего в предаварийный периоды их работы. В то же время случайный, а зачастую хаотический характер анализируемых процессов затрудняет формирование признаков в пространстве исходных данных. Это обстоятельство вынуждает использовать специальные критерии анализа и методы обработки ритм-сигналов [1].

В свою очередь, необходимо отметить, что хаотические ритм-сигналы присущи не только техническим, но и прежде всего биосистемам [2]. В этой связи в данной работе в качестве динамической сис-

темы, обладающей ритм-сигналом, рассматривается сердечно-сосудистая система человека.

Приступая к оцениванию параметров нестационарных случайных сигналов, необходимо, прежде всего, проверить их на хаотичность по соответствующим критериям, к которым прежде всего относятся: нормированная энтропия [3], максимальный показатель Ляпунова [5], диаграммы Пуанкаре [4].

С другой стороны, существует класс методов собственно анализа вариабельности ритм-сигнала. Данный класс методов широко применяется для анализа сердечного ритма. К ним прежде всего относятся методы построения: кардиоритмограмм, гистограмм распределения RR-интервалов, корреляционная ритмограмм. Они являются эффективным инструментом для определения степени влияния вегетативной нервной системы на сердечный ритм и для анализа его стабильности [6].

Целью данной работы является определение эффективности методов оценивания параметров хаотических ритм-сигналов на примере сердечно-сосудистой системы человека.

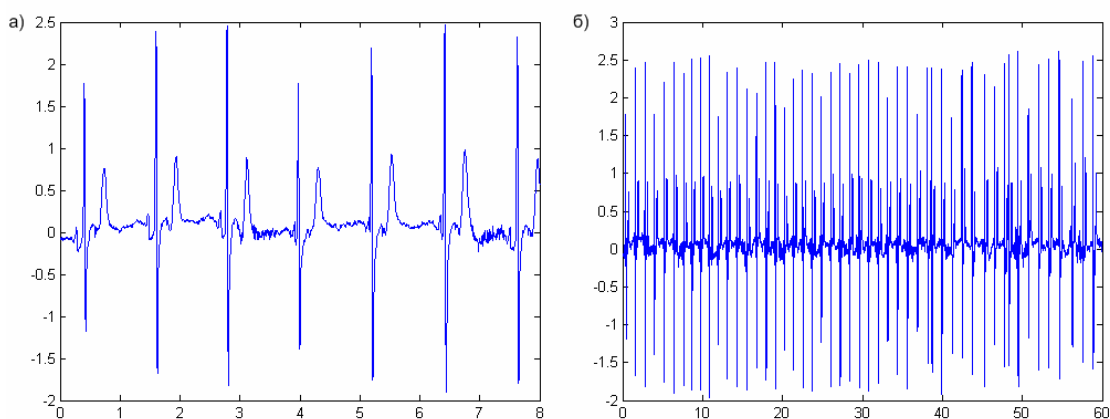
Оценивание хаотичности сигналов. Основным условием хаотичности системы является высокая чувствительность ее параметров к изменениям значений начальных условий. В качестве количественной меры чувствительности при этом используется экспонента Ляпунова.

Метод Вольфа самый распространенный метод вычисления максимального характеристического показателя Ляпунова. Он заключается в восстановлении фазового пространства и отслеживании эволюции восстановленных траекторий, которые расположены близко друг к другу. Отслеживается развитие множества первоначально ортогональных векторов (называемых векторами основной оси) относительно центральной траектории (называемой отправной траекторией). При этом скорость роста основного осевого вектора дает максимальный характеристический показатель Ляпунова λ_j :

$$\lambda_j \cong \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)} \quad (1)$$

Коэффициент Ляпунова электрокардиограммы, на которой изображена желудочковая тахикардия (рис. 1) равняется 0,0006. Известно, что, если данный показатель меньше нуля, то исследуемая

система стабильна и хаотичность отсутствует. В случае, когда показатель больше нуля – система переходит в режим хаотических пульсаций [5]. В данном случае значение коэффициента небольшое, и, значит, система работает достаточно стабильно и не переходит быстро в хаос.



а) запись ЭКГ в течении 6 секунд, б) запись ЭКГ в течении 60 секунд

Рисунок 1 – Электрокардиограмма желудочковой тахикардии

Нормированная энтропия электрокардиограммы желудочковой тахикардии (рис.1) равняется 12%, что свидетельствует о нестабильности сердечного ритма [3].

Диаграмма Пуанкаре для электрокардиограммы желудочковой тахикардии (рис.2) выглядит следующим образом:

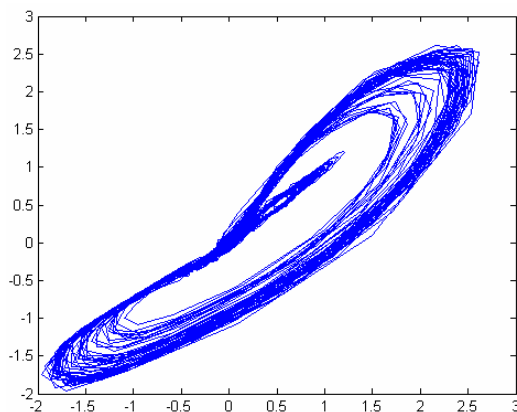


Рисунок 2 – Диаграмма Пуанкаре желудочковой тахикардии

Из диаграммы видно, что зубец Т сильно выражен, это привело к вытягиванию отростка посередине диаграммы. Достаточно толстые линии на диаграмме говорят о нестабильности сердечного ритма. Сильная разница между значениями зубца S и Q привели к тому, что диаграмма не симметрична оси, вдоль которой вытянута.

Анализ вариабельности ритм-сигналов. Далее рассмотрим один из методов анализа вариабельности ритм-сигналов. Гистограмма распределения RR-интервалов представляет из себя диаграмму, высота каждого столбика которой соответствует количеству RR-интервалов, попавших во временной диапазон, соответствующий положению рассматриваемого столбика на временной шкале. Для осмысления такого непростого определения, попробуем построить гистограмму на примере электрокардиограммы желудочковой тахикардии (рис.1).

Алгоритм построения гистограммы распределения RR-интервалов:

1. Находится максимальное (RRmax) и минимальное (RRmin) значения RR-интервалов за исследуемый период. Для нашего примера $R_{max} = 1,64$ с, а $R_{min} = 0,54$ с. Далее вычисляется значение размаха, т.е. разницы между максимальным и минимальным значением кардиоинтервалов $RR = 1,64 - 0,54 = 1,1$ с.

2. Вычисленное значение размаха делится на десять, получая тем самым шаг разбиения всего диапазона изменения RR на десять поддиапазонов. Отметим, что значение этого шага является, по существу, шириной каждого столбика гистограммы. Таким образом, легко видеть, что, как бы ни изменялись анализируемые ритмограммы, количество столбиков на гистограмме распределения будет всегда одним и тем же, зато их ширина может существенно меняться. Итак, шаг равен $\Delta RR/10 = 0,11$ с. Тогда получаем следующий набор поддиапазонов: 0,54-0,65 с, 0,65-0,76 с, 0,76-0,87 с, 0,87-0,98 с и так далее.

3. Для каждого из поддиапазонов определяется, какое количество RR-интервалов попадает в него. В результате получаем таблицу следующего вида:

Таблица 1 - Распределение RR-интервалов

Диапазон значений RR, сек.	Количество RR-интервалов, шт.
0,54-0,65	2
0,65-0,76	0
0,76-0,87	0
0,87-0,98	0
0,98-1,09	2
1,09-1,2	18
1,2-1,31	24
1,31-1,42	1
1,42-1,53	0
1,53-1,64	2

4. Графическая реализация полученных на предыдущем шаге табличных данных представляет собой гистограмму распределения RR-интервалов, полученную путем откладывания по горизонтальной оси времени в секундах, а по вертикальной – количество RR-интервалов (рис. 3).

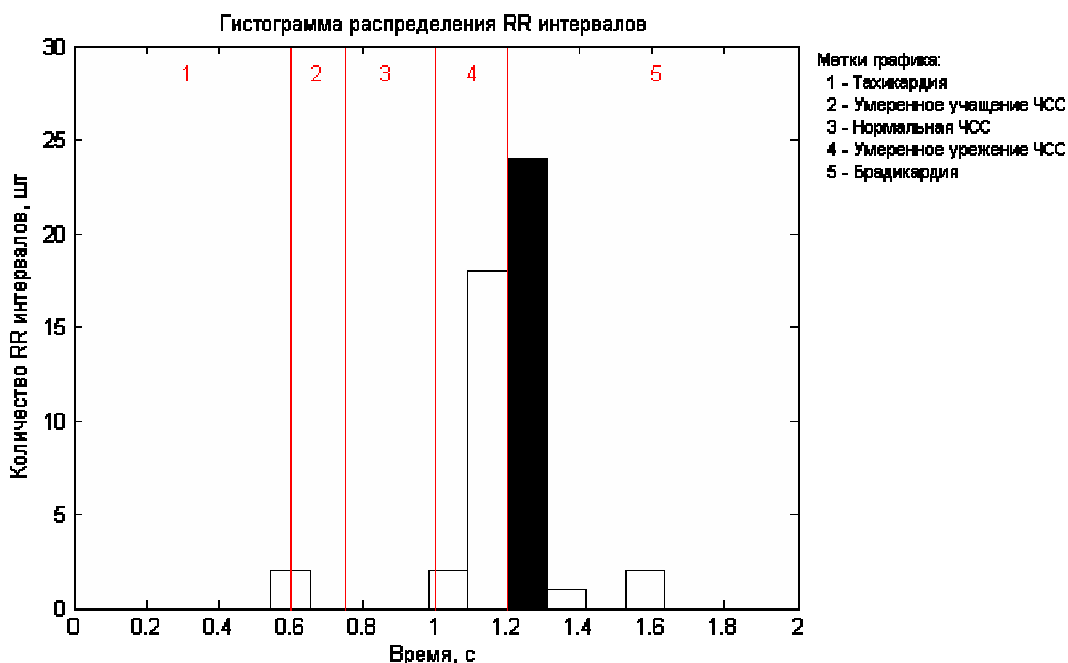


Рисунок 3– Схематичное изображение гистограммы распределения RR-интервалов

Залитый цветом прямоугольник гистограммы отражает наибольшее количество зарегистрированных нами кардиоинтервалов и имеет координату (в секундах), соответствующую положению этого столбика на горизонтальной оси. В нашем случае, это примерно 1,25 с. Эта величина является модой, т.е. наиболее вероятным значением RR-интервалов и обозначается M_o .

На основании значения моды можно сделать выводы о значении доминирующей частоты синусового ритма. ЧСС рассчитывается по формуле $ЧСС = 60 / M_o$. При этом следует иметь в виду, что величина рассчитанного таким образом ЧСС может отличаться от значения частоты синусового ритма, определенного на основании среднего значения частоты пульса, которая далеко не всегда характеризует наиболее часто встречающиеся кардиоциклы [6].

Анализируя ЧСС, придерживаются следующих пяти градаций:

- Урежение частоты синусового ритма сердца (брадикардия) при ЧСС < 50 уд/мин.
- Умеренное урежение синусового ритма сердца при ЧСС от 51 до 60 уд/мин.
- Нормальная частота синусового ритма сердца при ЧСС от 61 до 80 уд/мин.
- Умеренное учащение синусового ритма сердца при ЧСС от 81 до 100 уд/мин.
- Учащение синусового ритма сердца (тахикардия) при ЧСС > 100 уд/мин.

Таким образом, целесообразно ввести четыре реперные точки на горизонтальной координатной оси гистограммы, соответствующие указанным границам (50, 60, 80, 100 уд/мин) в секундах (соответственно, 1.2, 1.0, 0.75 и 0.6 с). Тогда, как правило, бывает достаточно схематичного изображения гистограммы (см. рис. 3) [6].

Отсюда, как видно из рис. 3, - при желудочковой тахикардии, как правило, происходит урежение частоты синусового ритма (брадикардия).

Для сравнения результатов спроведено оценивание ЭКГ здорового человека. Данному сигналу соответствует: значение коэффициента Ляпунова 0,0003, нормированная энтропия 58%, умеренное урежение синусового ритма. Достаточно тонкие линии на диаграмме Пуанкаре, построенной для данного сигнала, говорят о стабильности сердечного ритма (рис. 4).

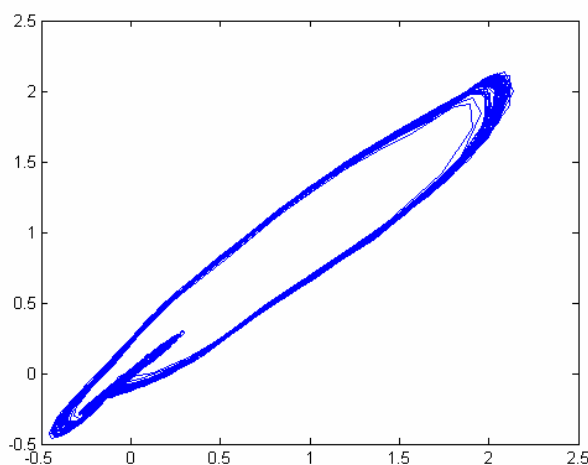


Рисунок 4 – Диаграмма Пуанкаре нормального синусового ритма

Выводы. В данной работе проведено исследование существующих методов анализа ритм-сигналов, которые используются для создания диагностической системы оценивания нормальности функционирования динамических систем.

Рассмотренному в работе случаю желудочковой тахикардии соответствует: значение коэффициента Ляпунова 0,0005, асимметричная диаграмма Пуанкаре, синусовая брадикардия, значение нормированной энтропии - 12% (при норме 50%-100%). В работе также приведены параметры нормального синусового ритма: нормированная энтропия 58%, коэффициент Ляпунова 0,0003, частота синусового ритма умеренно урежена. В результате сравнения этих двух сигналов можно сказать о значительном различии в значениях нормированной энтропии (в случае желудочковой тахикардии значительное отклонение от нормы), также различия заметны в диаграммах Пуанкаре (в случае желудочковой тахикардии данная диаграмма показывает высокую вариабельность сердечного ритма). Следует отметить то, что при желудочковой тахикардии проявляется синусовая брадикардия, а в случае нормального синусового ритма такого явления не наблюдается.

Результаты проведенного исследования показывают, что предлагаемый подход, основанный на вычислении вышеприведенных показателей ритм-сигналов, повышает точность принятого экспертом в процессе диагностики решения, а при проведении достаточного количества опытов, повысит эффективность диагностики в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалев А.И., Гуда А.И., Деревянко А.И. Критерии идентификации параметров хаотической динамики управляемого объекта // Автомобильный транспорт. Вісник Харківського національного автодорожного університету. - Вып. 25, 2009. - С. 254-257.
2. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой: Лекции соросовского профессора. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. -144с.
3. Сапарин П.И. Нормированная энтропия как диагностический признак реакции сердечно-сосудистой системы человека на внешнее воздействие. Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1993. Т. 1, № 3-4.
4. Henon M. On the Numerical Computation of Poincare Maps // Physica D. 1982. V.5, №2,3.
5. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. - М.: Эдиториал УРСС, 2000. - 336 с.
6. Березный Е.А., Рубин А.М., Утехина Г.А. Практическая кардиоритмография. -спб.:Научно-производственное предприятие «Нео», 2005.-140 с.

А.И. Деревянко, Сяо Цзефан

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОРРОЗИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Предложена фрактальная модель процесса коррозии металлов. На основе сравнения результатов численного и физического экспериментов показано, что возникновение кроссовера оценки фрактальной размерности связано с началом формирования рыхлой границы очагов коррозии.

Ключевые слова. Фрактальная модель, коррозия металлов, фрактальная размерность, кроссовер

Из всех известных методов измерения коррозии, только некоторые могут различать типы коррозии [1]. Однако, большинство из них используют внешние источники напряжения или тока, по этой причине результаты измерения процесса коррозии могут быть неконтролируемо искажены. Поэтому для построения модели процесса коррозии необходимо разработать пассивные методы мониторинга процесса коррозии.

К таким методам измерения показателей коррозии металлов относятся методы, основанные на цифровой обработке растровых изображений поверхностей, подвергнутых коррозии. Следует отметить, что эти методы не оказывая влияния на процесс коррозии, допускают возможность измерений только в дискретные моменты времени.

Постановка задачи исследования

Детерминированные физико-химические процессы, формирующие явление коррозии металлов, являются нелинейными и имеют области хаотического поведения. Так, в работе [2] представлен обзор применения теории детерминированного хаоса для анализа процессов коррозии. Следствием этого является формирование на поверхности металла микроструктур коррозии, обладающих свойствами фракталов [3].

Целью работы является разработка фрактальной модели коррозии и алгоритмов анализа поверхности металлов, на основе этой модели, для оценки их состояния.

Основная часть

Экспериментальные исследования коррозии металлов, не имеющей антикоррозийной защиты, показали, что рост площади пятен коррозии происходит одновременно с изменением характера их границы (рис. 1). Таким образом, можно выделить два процесса формирования пятен коррозии:

- увеличение площади пятен коррозии (увеличения диаметра минимальной окружности, охватывающей пятно коррозии);
- изменение свойств геометрии границы пятен коррозии, т.е. формирование изрезанной (рыхлой) границы.

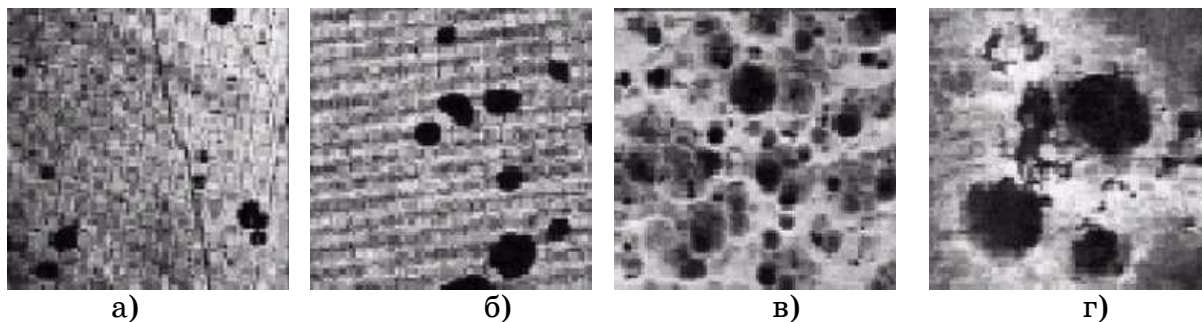


Рисунок 1 - Изображения изменений коррозии поверхности

Интересно отметить, что для нержавеющей стали проявление второго процесса формирования коррозии существенно запаздывает во времени (рис. 2). Этот этап (рис.1, в) и г)) имеет лавинообразный характер, что вызвано спецификой хаотических режимов физико-химических процессов коррозии.

Таким образом, перспективной характеристикой для оценки состояния поверхности металла, подвергнутого коррозии, может служить фрактальная размерность, которая является интегральной характеристикой поверхности металлов



Рисунок 2 - Изображение коррозии поверхности нержавеющей стали AISI 304

Для геометрических объектов, границами которых служат замкнутые кривые, отношение периметра к квадратному корню площади не зависит от их размера и определяется выражением [4].

$$\rho_D(\delta) = \frac{[L_i(\delta)]^{1/D}}{[A_i(\delta)]^{1/2}}, \quad (1)$$

где D фрактальная размерность границы, для которой размерность пространства равна 2, время наблюдения процесса коррозии.

Для 3d фрактальных геометрических объектов на растровом изображении (рис.1), образованных очагами коррозии, выполняется условие [5].

$$D=3-H, \quad (2)$$

где H – показатель Херста. Значения показателя Херста $H=0.5$ для изображения коррозии поверхности металла характерны для независимых значений ρ (выражение 1). Значения показателя Херста $H>0.5$ характерны для персистентной системы, т.е. поддерживающей зависимость роста значений ρ во времени. Значения показателя Херста $H<0.5$ характерны для антиперсистентной системы. Таким образом, значение показателя Херста $H=0.5$, при известном значении D , дает возможность оценить момент возникновения лавинообразного характера коррозии.

Растровое изображение поверхности металла с геометрической точки зрения является проекцией этой поверхности на плоскость экрана компьютера. Составляющая «яркость» такого изображения пропорциональна профилю поверхности металла, если изображение представлено растровой цветовой моделью в градациях серого. Стандартный диапазон значений яркости для представления растрового изображения на экране компьютера 0-155 уровней, что соответствует 8-битному представлению диапазона для значений профиля шероховатости, образовавшегося в результате коррозии.

В основе алгоритма оценивания фрактальной размерности изображений в градациях серого лежит факт, что такое изображение можно представить как поверхность, где низинам соответствуют "темные" пикселы, а пикам - возвышенностям - "светлые" пикселы. На рис. 3 приведено изображение в градациях серого микрошлифа металла и его рельеф яркости. Для оценки фрактальной размерности

очагов коррозии был использован алгоритм TPSA [6], предназначен для обработки изображений в градациях серого.

Для определения влияния статистических характеристик изображения на оценку фрактальной размерности были сгенерированы тестовые изображения со значением показателя Херста $H=0.5$ и различными значениями среднеквадратичного отклонения (рис.4).

Значения яркости растрового изображения исходно, представленные на диапазоне 0-255, были центрированы относительно значения 128.

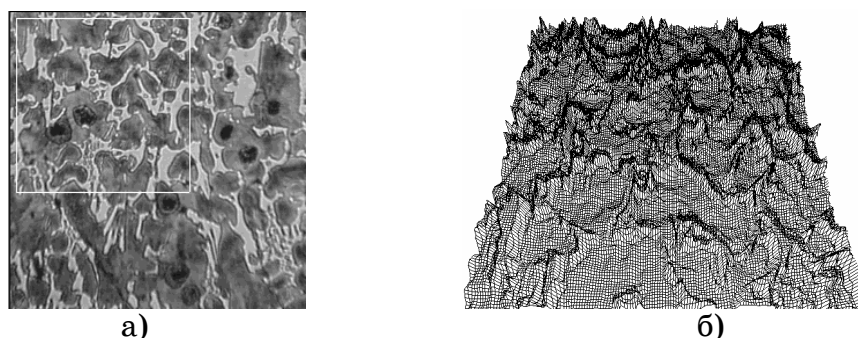


Рисунок 3 - а) микрошлиф; б) рельеф выделенного участка

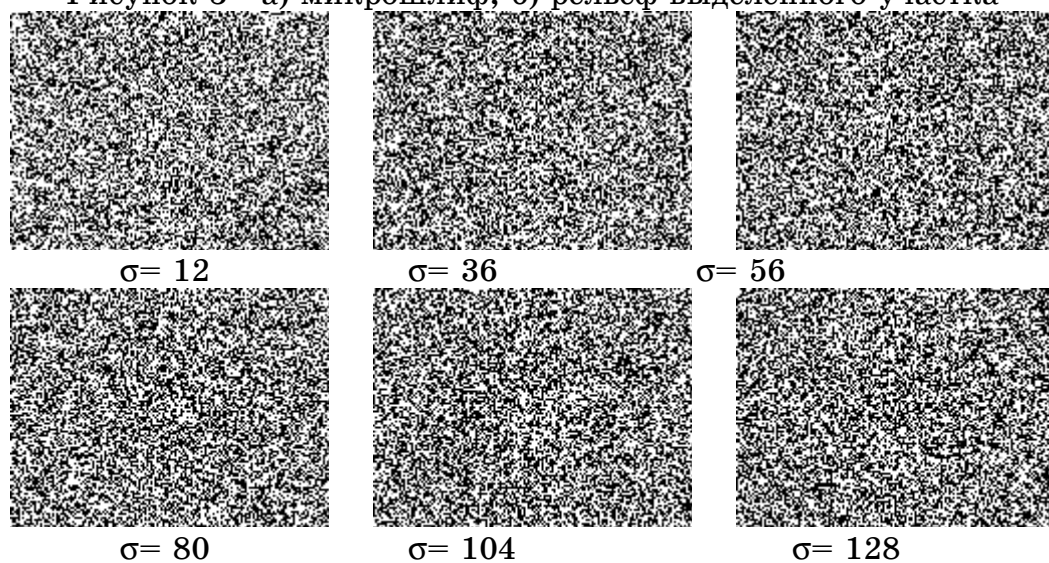


Рисунок 4 - а) микрошлиф; б) рельеф выделенного участка

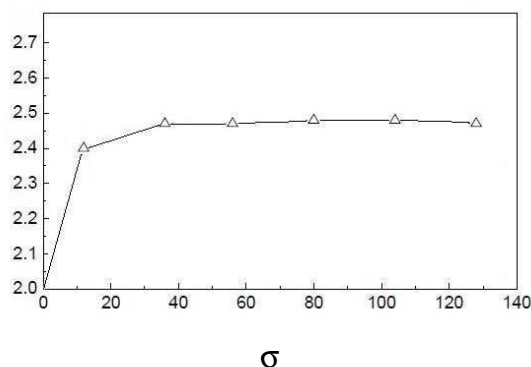


Рисунок 5 - зависимость значения оценки фрактальной размерности от среднеквадратичного отклонения

В таблице 1 представлены результаты оценки фрактальной размерности D1- D4 в последовательные моменты времени для эксперимента с различными сортами сталей Materials.

Таблица 1

No.	Materials	D1	D2	D3	D4
2-a	08Al	2.41798	2.46779	2.63168	2.90512
2-b	08Al	2.43947	2.46837	2.61874	2.92337
3-a	16Mn	2.44378	2.47194	2.56811	2.92709
3-b	16Mn	2.50469	2.47365	2.62961	2.93238
4-a	10CrMoAl	2.48528	2.47306	2.58872	2.94074
4-b	10CrMoAl	2.47630	2.46996	2.67788	2.92447
5-a	10CrMoAl	2.43954	2.47743	2.63627	2.94194
5-b	10CrMoAl	2.46265	2.47487	2.64363	2.94095
7-a	09CuPTiRe	2.43092	2.46862	2.67132	2.92582
7-b	09CuPTiRe	2.43770	2.46825	2.66995	2.93030
10-a	10CrCuSiV	2.45688	2.47249	2.50333	2.92194
10-b	10CrCuSiV	2.49265	2.47467	2.66359	2.93842

Выводы

В результате проведенных исследований показано, что процесс коррозии металлов имеет выраженный кроссовер для значений оценки фрактальной размерности. Возникновение кроссовера связано с началом формирования рыхлой границы очагов коррозии. Этот эффект вызывает лавинообразный процесс коррозии металлов. Предложенный метод определения появления кроссовера позволит зафиксировать момент изменения типа коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Marcus P., Mansfeld F. Analytical methods in corrosion science and technology. -2006, 760p.
2. Stringer I., Markworth A. J. Corrosion Science, v.35, 1993, p.751.
3. Avnir D. The fractal approach to heterogeneous chemistry. -1998, 232 p.
4. Федер Е. Фракталы. _М. Мир, 1991.-254с.
5. Mandelbrot B. The fractal geometry of nature. 1983, p.243.
6. Михалев А.И., Дервянко А.И., Помулев В.В. Фрактальное оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (10) – Днепропетровск. 2000. с. 104-112.

СИНТЕЗ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. На основе анализа структурно-функциональной схемы синергетического управления индивидуализированным обучением исследованы основные элементы гибридной модели.

Ключевые слова: гибридная модель, синергетическое управление, система автоматизированного управления обучением

Введение

Одной из необратимых тенденций образования в информационном обществе становится отход от детерминированных траекторий обучения в сторону их полной индивидуализации [1], [2]. Очевидно, что формирование гибких индивидуальных учебных планов, сопровождение процесса их выполнения может быть реализовано на основе разработки моделей автоматизированного управления процессом обучения, что требует адаптации современной теории управления к потребностям образования.

Постановка проблемы

Процесс формирования индивидуальных траекторий обучения представляет собой сложную систему, которая в условиях компетентного подхода с учётом межпредметных связей характеризуется большим числом гетерогенных подсистем с высокой степенью неопределённости. Поэтому задача автоматизации управления такой системой может быть решена на основе комплексного использования различных методов имитации деятельности преподавателя. Задача синтеза гибридной информационно-управляющей системы для автоматизированного управления индивидуализированным обучением на основе использования разнородных интеллектуальных средств является актуальной и нерешённой.

Анализ публикаций по теме исследования

Теоретические и методологические основы управления обучением с дидактических позиций рассмотрены в работах Талызиной

Н.Ф., Беспалько В.П., Башмакова И.А. и др.; с кибернетических позиций – в работах Растригина И.А., Эренштейна М.Х. и др. В соответствии с динамикой развития прикладных систем искусственного интеллекта в управлении, а также в связи со спецификой процесса обучения, дальнейшее совершенствование средств управления связано с интеллектуализацией систем обучения. Такой подход развивается в работах Петрушина В.А., Сороко В.Н., Тодорцева Ю.К., Чмыря А.И., Шароновой Н.В.

Одним из перспективных подходов при разработке систем управления сложными нелинейными динамическими объектами является синергетический, основной сутью которого является максимальный учёт при выработке управляющего воздействия естественных свойств, внутреннего развития объекта управления [3]. В рамках реализации синергетической модели управления обучением [4], нерешённой является проблема синтеза системы управления (СУ) на основе анализа структурно-функциональной схемы обучения.

Цель статьи

Разработка реализационных основ системы синергетического управления обучением основывается на анализе функционально обособленной структуры такой системы. Поэтому целью данной статьи является исследование наиболее эффективных средств интеллектуального управления анализируемыми подсистемами, определение наиболее целесообразной формы их гибридизации.

Реализационные основы синергетического управления обучением

Предпосылки применения синергетического подхода

Процесс обучения представляет собой сложный социотехнический объект, состоящий из большого количества разрозненных подсистем и в общем случае не имеющий адекватного формального описания. Поэтому рассмотрим процесс обучения с позиции теории самоорганизации сложных упорядоченных систем, применив так называемый синергетический подход. Такой подход является целесообразным т.к. система обучения относится к классу нелинейных диссипативных динамических систем. Следовательно, учёт в процессе анализа «синергетических» свойств и особенностей, характерных для обучения, даёт возможность определить параметры процесса управления обучением, адаптированного для конкретного обучаемого.

Основу синергетической модели управления обучением [4] составляет двухклассовая модель «знаний и умений» управления обучением с вектором состояния (x, y) и вектором управления (U, h) , которая имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= fUy, \\ \frac{dy}{dt} &= c(1 - U)xy, \\ \frac{d}{dt}(Ux + (1 - U)y) &= \frac{h(t)}{1 + r} + \frac{c - f}{1 + r}(Ux + (1 - U)y),\end{aligned}\tag{1}$$

где $h(t)$ – скорость выдачи информации,

r – коэффициент сопротивления дидактическому процессу,

f – коэффициент забывания,

c – коэффициент умозаключения,

U – доля времени, отведённая на накопление знаний,

S – нормированное количество информации ($0 < S < 1$),

x, y – нормированные объёмы накопленных знаний и умений.

Инвариантное многообразие в фазовом пространстве синергетического метода управления системой, задаётся с помощью аналитически полученного уравнения, связывающего координаты состояния и управления:

$$(1 + r)e^{\alpha t}(Ux + (1 - U)y) = \beta + \int e^{-\alpha t}h(t)dt,\tag{2}$$

где $\alpha = \frac{c - f}{1 + r}$, β – произвольные постоянные.

Таким образом, аналитически получена формулировка задачи управления в виде выбора параметров скалярного регулятора.

Структурно-функциональная схема управления обучением

Целью реализации данной схемы управления является формирование управляющих воздействий в виде индивидуальных траекторий обучения, направленных на достижение требуемого набора компетенций. На основе декомпозиции целей функционирования СУ обучением предложена вложенная структура, состоящая из совокупности унифицированных подсистем циклического действия «учебный элемент (УЭ) – учебная дисциплина (УД) – компетенция (КМП) – системы компетенций (СКМП)».

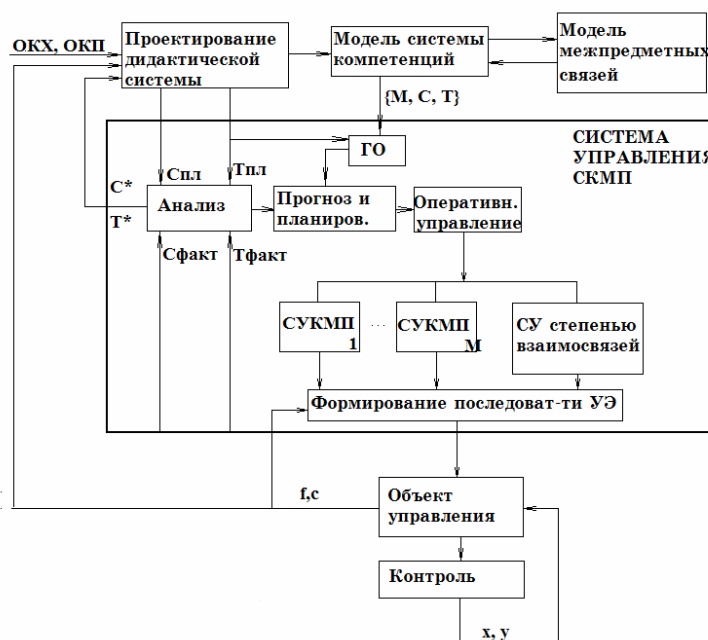


Рисунок 1 –Схема управления процессом формирования системы компетенций

Вложенность указанных подсистем осуществляется за счет передачи значений целевых параметров, выражающих расхождение между планируемыми и фактическими значениями успешности обучения - C^* и временем T^* в сташую СУ, а управляющих U, h – в подчинённую. Центральным звеном данной схемы является схема взаимодействия между моделью межпредметных связей и моделью компетенций [5], которая реализуется на основе нейро-нечёткого управления [6].

Нейро-нечёткая схема управления интеграцией обучения

Модель системы межпредметных связей построена на основе модели ассоциативного мышления, реализована в виде искусственной нейронной сети, на основе которой можно автоматизировать процесс определения степени интеграции между парами учебных дисциплин, формирующих отдельные компетенции. Структура связей отражает иерархическую структуру содержания обучения, образуя слои в соответствии с уровнями иерархии. Таким образом, получаем многослойную сеть со скрытыми слоями, т.к. в качестве внешней среды выступают данные, полученные из соответствующих баз знаний монопредметных курсов, в качестве выходных данных – коэффициент интеграции, количественно выражающий степень интеграции дисциплин.

В связи с тем, что формальное описание отношения «взаимосвязь» носит субъективный характер, то в модель межпредметных

связей введён набор нечётких правил. Для совместного использования нейронных сетей и нечёткого логического вывода применяется аппарат нечётких нейронных сетей Fuzzy Logic Toolbox пакета Matlab [6]. В данном случае слои нейронной сети выполняют функции элементов системы нечёткого вывода. Нечёткие правила имеют вид:

$$\text{ЕСЛИ "e1 есть } \alpha \text{" И "e2 есть } \beta \text{" ТО "w есть } \varepsilon \text{"} \quad (3)$$

где $e1$ и $e2$ - переменные, характеризующие интегрируемую монопредметную область;

α и β - соответствующие значения указанных переменных;

ε - значение лингвистической переменной w , которая описывается с помощью терма «степень взаимосвязи».

Параметры функции принадлежности определяются с помощью известных процедур обучения нейронных сетей. Полученные значения используются на этапе применения нейронной сети в качестве весовых коэффициентов, отражающих степень взаимосвязи между УЭ интегрируемых курсов. Функция принадлежности для данной лингвистической переменной имеет вид Гауссовой функции, является обработкой результатов, полученных от экспертов. В качестве термов были использованы следующие значения: $T_\varepsilon = \{\text{«отсутствует»}, \text{«скорее всего целесообразна»}, \text{«определённо целесообразна»}\}$. В результате последовательного применения нейро-нечёткой системы для определения степени интеграции между попарно предъявляемыми учебными дисциплинами, получаем вектор степеней интеграции $SI = \{si_1, si_2, \dots, si_{ns}\}$, в котором $ns = (N^2 - N) / 2$, где N - общее количество дисциплин D .

Дальнейшее управление процессом формирования компетенций на основе межпредметных взаимосвязей определяет необходимость разбиения массива исходных данных на неизвестное заранее количество групп S_i , причём, в общем случае, каждая дисциплина может участвовать в формировании нескольких компетенций. Решение данной задачи основано на применении нечёткой горной кластеризации, на основе расчёта потенциальных центров кластеров с последующим их уточнением. Полученные степени интеграции являются основой для отбора содержания обучения, построения графа обучения. Однако, ввиду существования множества траекторий прохождения графа, необходима дальнейшая оптимизация.

Эволюционная оптимизация управляющих воздействий

Целевая функция получена на основе синергетической модели управления обучением, имеет следующий вид:

$$N_{y3} = F(h, U, T, t, w), \quad (4)$$

где N_{y3} - количество учебных элементов в траектории, T - тезаурус, w - тестовый параметр интеллекта. Идентификация целевой функции выполнена с помощью обучения трёхслойной нейронной сети на основе метода обратного распространения по алгоритму Левенберга–Марквардта. Вариация частей тезаурусов из различных учебных дисциплин, прогнозируемых значений параметра интеллекта на основе статистических данных, управляющих параметров h , U определяют постановку переборной задачи нахождения максимума целевой функции при заданном времени обучения. Ограничениями задачи являются ресурсы, показатели качества обучения: уровень усвоения $K_y \geq 0,7$; показатель степени абстракции; показатель степени осознанности $K_o = 3$ (для межпредметных связей); коэффициент усвоения навыка.

Прогнозирование параметров индивидуального и группового векторов интеллекта выполнено на основе полученных математических моделей по определению доверительных интервалов и доверительных вероятностей. Определение вектора состояний выполнено на основе модели нечёткого графа обучения с последующим определением вершин (учебных элементов) и взаимосвязей между ними (внутри- и межпредметных связей). Объектами кроссвера в эволюционной модели являются наборы учебных элементов, обеспечивающих требуемые степени интеграции между учебными дисциплинами. Модель предусматривает реализацию компетенстного обучения, т.е. система целей обучения сведена к достижению набора компетенций.

Практическая реализация

Предложенная модель реализована с применением инструмента Optimization Tool пакета Matlab. Применение эволюционного метода оптимизации позволило значительно сократить время перебора различных комбинаций входных данных, а также выполнить оптимизацию функции, не имеющей аналитического выражения. Предложенный подход реализован для формирования компетенций у бакалавров Одесского национального политехнического университета, обучающихся по специальности 0925 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии».

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведённый декомпозиционный анализ структурно-функциональной схемы синергетического управления индивидуализированным обучением позволил синтезировать модель автоматизации формирования оптимальных обучающих воздействий. Таким образом, получена модель реализации синергетического управления в виде гибридизации нейро-нечёткого и эволюционного инструментария решения интеллектуальных задач, что позволяет повысить эффективность различных форм как электронного, так и традиционного обучения.

Дальнейшее развитие данного подхода состоит в разработке системы автоматизации извлечения скрытых закономерностей на основе статистических данных, накапливаемых в обучающей системе, для облегчения процесса наполнения базы знаний нечётких правил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002. – 352 с.
2. Гриценко В.И. Высшее образование в информационную эпоху: вызовы глобализации. – К.:МННЦИТ и СНАНУ и МОН, 2009. – 38 с.
3. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: УРСС. – 2006. - 240 с.
4. Мазурок Т.Л. Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением // Математические машины и системы. – 2010. - №3. – С. 124-134.
5. Мазурок Т.Л. Нейро-нечёткая реализация синергетического управления индивидуализированным обучением // Искусственный интеллект. – 2010. - №4. – С. 596-605.
6. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech. – Спб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

В.В. Быковец, М.Н. Бойко, Е.Н. Власова, А.И. Михалев

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования качества железорудных окатышей. Разработана нечеткая модель прогнозирования прочности железорудных окатышей.

Ключевые слова: окатыши, прочность, нечеткий вывод

Постановка задачи

Основными задачами управления процессом обжига железорудных окатышей являются выбор соответствующего удельного расхода газа и компенсация колебаний свойств загружаемых сырых окатышей и газодинамических характеристик слоя на конвейерной машине с целью обеспечения достаточного прогрева низа слоя и, тем самым, требуемого качества продукции при минимально необходимом энергопотреблении. Эти задачи управления могут быть решены достаточно полно только с применением математических моделей, описывающих теплофизику технологического процесса с учетом всех основных явлений, протекающих в объеме слоя. При этом большое значение уделяется выбору алгоритмов стабилизации и оптимизации процесса и методам определения основных параметров технологии, в первую очередь – прогнозированию качества обожженных окатышей [1-4].

Прочность обожженных окатышей зависит от химического состава сырья и температурного режима обжига, определяемого скоростями нагрева и охлаждения слоя, максимальной температурой обжига и временем обжига.

Зачастую при прогнозировании качества обожженных окатышей учитывается очень ограниченный набор параметров, как правило, температурно-временные показатели, что снижает точность прогнозирования. При этом остаются неучтенными многие факторы, в значительной мере влияющие на процесс формирования прочности окатышей. Так в разработанном способе управления процессом тер-

мообработки окатышей [5], включающем использование математической модели процесса, оценка качества окатышей производится только по распределению температуры в слое и в зависимости от степени достижения максимальной температуры, соответствующей максимальной прочности. При этом фактически не учитывается динамика набора прочности окатышами, а также проблематичным представляется определение температуры, требуемой для достижения максимальной прочности.

Ранее были построены функциональные зависимости между технологическими параметрами и прочностью обожженных окатышей [6]. Эти зависимости определяли методом группового учета аргументов (МГУА), являющихся усовершенствованием регрессионных методов идентификации за счет включения процедуры самоусложнения модели и оценки ее точности по заданному критерию по отношению к проверочной последовательности опытных данных. Использовали алгоритмы с последовательным выделением трендов и многорядный алгоритм, но полученные зависимости имели частный характер.

В работе [7] предложено оценивать прочность и истираемость окатышей после обжига с помощью уравнений, построенных на основе множественной регрессии. Приведенные уравнения регрессии носят локальный характер и не учитывают влияния многих важных факторов.

При управлении процессом обжига окатышей на конвейерной машине для выработки управляющих воздействий используется математическая модель процесса обжига [8], позволяющая прогнозировать прочность окатышей. Предусматривается периодическая адаптация математической модели путем коррекции коэффициентов в кинетических уравнениях теплообмена, физико-химических превращений и упрочнения окатышей. Однако фактически не учитывается возможность добавления в окатыши твёрдого топлива.

Математический аппарат теории нечетких множеств позволяет построить модель объекта, основываясь на нечетких рассуждениях и правилах. Нечеткие модели описывают явления и процессы реального мира на естественном языке с помощью лингвистических переменных. Эти преимущества обусловили широкое применение нечеткой логики для решения задач автоматического управления, принятия

решений, прогнозирования в различных прикладных областях науки, техники и экономики [9].

Таким образом, необходимо разработать нечеткую модель процесса влияния температуры обжига, основности, времени обжига, глинеземного и магнезиального модуля на прочность железорудных окатышей, которая была бы реализована в виде системы нечеткого вывода и позволяла бы исследовать их влияние на прочность железорудных окатышей.

Нечеткая модель прогнозирования прочности железорудных окатышей

Для решения задачи фаззификации предлагаются треугольные и трапециевидные функции принадлежности, поскольку входные величины могут относиться к нескольким оценкам, с разной степенью уверенности (рисунок 1)[10].

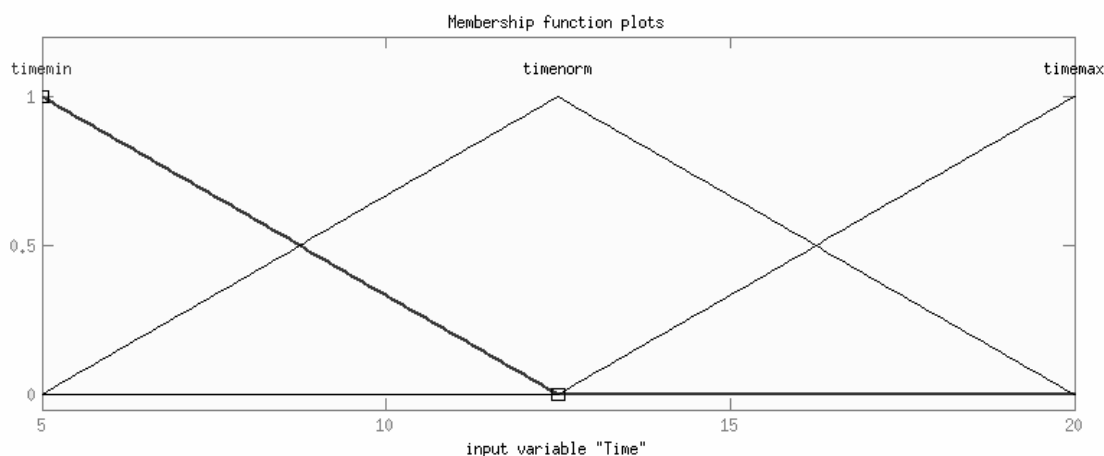


Рисунок 1 - Пример функции принадлежности для времени обжига окатышей

С учетом сделанных уточнений рассмотренная субъективная информация влияния температуры, времени обжига, основности, магнезиального и бентонитового модулей на прочность железорудных окатышей может быть представлена в виде 32 правил нечеткой продукции (алгоритм нечеткого вывода типа Мамдани).

Для анализа разработанной нечеткой модели и оценки влияния входных нечетких переменных на прочность железорудных окатышей использовались поверхности нечеткого вывода, приведенные на рис. 2, из которых следует экстремальный характер зависимости прочности обожженных окатышей от времени и температуры обжига, содержания бентонита и основности.

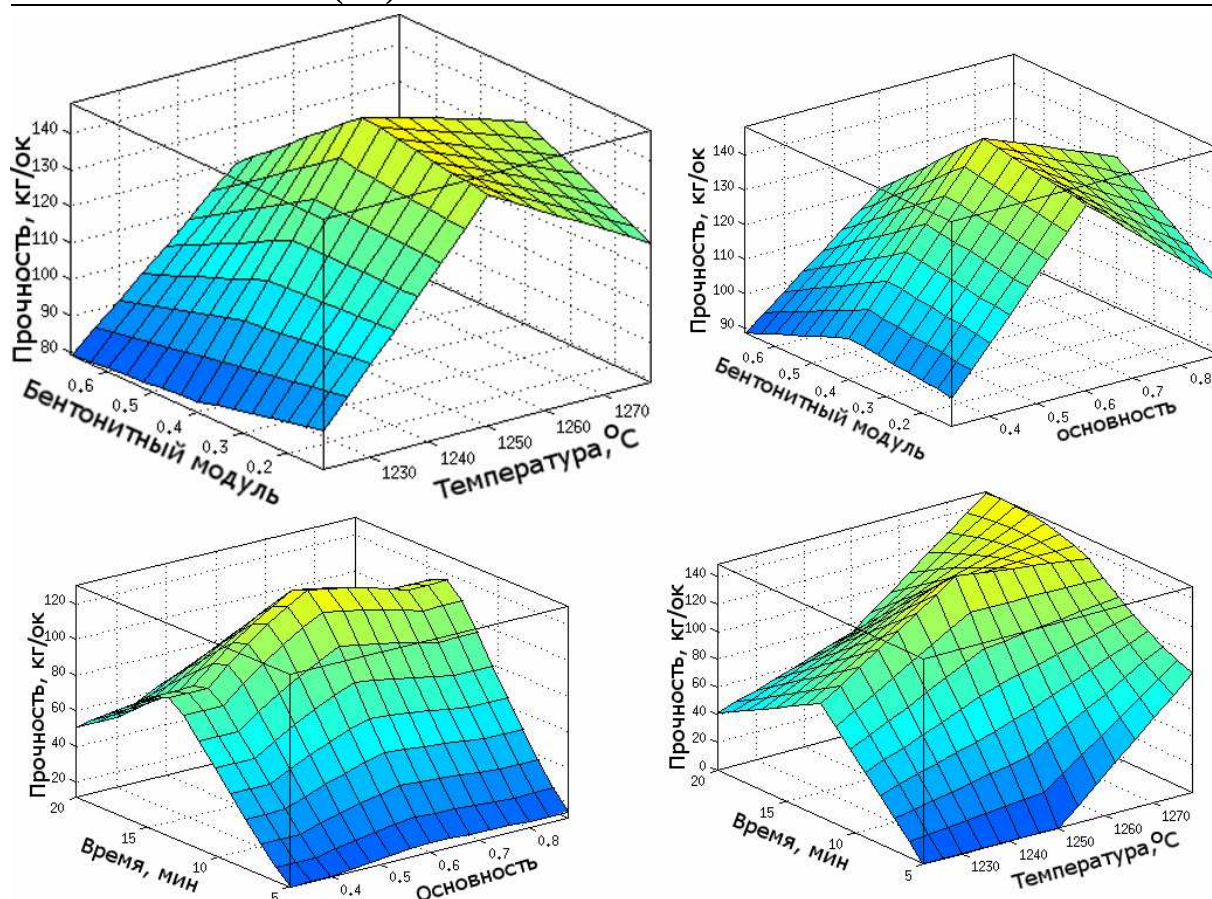


Рисунок 2 - Поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели прогноза прочности окатышей

Выводы

1. Впервые для построения модели зависимости прочности железорудных окатышей применяется нечеткий подход, который позволяет повысить уровень информации о процессе на основании субъективных оценок экспертов.

2. Прочность окатышей увеличивается с уменьшением скоростей нагрева и охлаждения, увеличением (до определенного значения) времени обжига. Температурная зависимость является экстремальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жак А. Р. Интегральный показатель качества сырых окатышей // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.–1998.– № 5.– С. 6-10.
2. Жак А. Р. Интегральный показатель качества технологии производства железорудных окатышей (на примере Лебединского горно-обогатительного комбината) // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.–1998.– № 3.– С. 6-14
3. Боковиков Б. А. Математическое моделирование динамического процесса обжига окатышей на конвейерной машине // НИИ Металлургии теплотехники.– 2002.– № 8.– С. 25-31.
4. Математические модели для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине / Буткарев А.П., Буткарев А.А., Майзель Г.М., Некрасова Е.В. // Сталь. - 2000. - №3. - С. 10-13.
5. Патент РФ №2145435 С1. Способ управления процессом термообработки в установке для получения окатышей / Г.М. Майзель, А.П. Буткарев // Бюл. 2000 №4.
6. Управление окускованием железорудных материалов/ Ю.С. Юсфин, А.Д. Каменов, А.П. Буткарев.–М.: Металлургия, 1990.–280 С.
7. Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов/ Н.В. Федоровский, В.В. Даньшин, В.И. Губанов и др.–М.: Металлургия, 1986.–206 С.
8. Буткарев А. П.. Майзель Г. М.. Некрасова Е. В.. Буткарев А. А. Математическое обеспечение АСУТП производства железорудных окатышей на конвейерных машинах // Сталь.– 1995.– № 4.– С. 67-75.
9. Новикова Е.Ю., Михалев А.И., Бубликов Ю.А. Нечеткая идентификация процесса микролегирования стали с карбонитридным упрочнением // Сучасні проблеми металургії: Наукові праці. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2006. – С. 113-127.
10. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика, искусственные нейронные сети: Учебное пособие. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001г. - 224с.

СОДЕРЖАНИЕ

Мешалкин А.П., Перескока В.В., Власенко В.М., Камкин В.П. Совершенствование шлакообразования в сталеплавильных процессах путем применения подготовленных техногенных отходов.....	3
Баклан І.В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти	10
Гожий А.П. Особенности построения информационно-аналитических систем для решения задач сценарного планирования	20
Гужов В.А., Чалая Л.Э., Чижевский А.В. Метод поиска информации в социальной сети «ученые украины» по онтологической модели	26
Дробахин О.О., Доронин А.В., Привалов Е.Н. Усовершенствование средств определения местоположения объектов в свободном пространстве микроволновым интерференционным методом на основе математической модели отражения	33
Дробахин О.О., Лебедев С.Г. Оценка частоты синусоидального сигнала при наличии импульсных помех путем минимизации целевой функции, построенной на основе функционала квазидлительности	40
Кошулян А.В., Малайчук В.П. Сингулярный спектральный анализ замкнутых пространственных рядов	46
Кириченко Л.О., Радивилова Т.А., Кайали Э. Анализ методов повышения QOS в сетях MPLS с учетом самоподобия трафика.....	52
Ковалюк Т.В., Іващенко Д.С., Шумар О.І. Програмні засоби інформаційної підтримки прийняття рішень в умовах загрози екологічної безпеки	60
Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И., Скалзуб В.В., Доронина Ю.В. Полумарковская модель информационной системы сбора и обработки данных с учетом блокировок устройств	66
Кузнецов К.А., Мозговая И.В., Шегеда К.В. Уменьшение пространства признаков в задаче бинарной классификации	72
Кузнецов Д.І., Купін А.І. Метод моніторингу використання електроенергії електроустаткування засобами нейромереж	78
Купін А.І., Музика І.О. Підхід до ідентифікації параметрів моделей технологічних процесів гірничого виробництва	86
Осинский Ю.А., Копп В.Я., Лазарева Е.В., Филипович О.В. Цифровая система автоматического управления (САУ) колебательным шаговым пневмоприводом поворотного действия	94

Беда М.А., Житник Н.Е., Лесничий В.Н., Плаксин С.В. Компьютерная обработка хронопотенциограмм для контроля параметров процесса в химическом источнике тока	103
Селіванова А.В., Селіванов А.П., Мазурок Т.Л. Моделювання управління узагальненою холодильною установкою у комп'ютерному тренажері	111
Гришко А.А., Удовенко С.Г. Нейросетевая аппроксимация Q-функций в трейдинговых системах	118
Шатовская Т.Б., Климов И.В. Интеллектуально информационно-управляющая система чрезвычайного реагирования «Цифровой гражданин»	126
Шумейко А.А., Сотник С.Л. Использование агломеративной кластеризации для автоматической рубрикации текстов.....	131
Бабенко Ю.В., Михалев А.И. Исследование и сравнительный анализ классического и хаотического генетических алгоритмов в задачах глобальной оптимизации	138
Михалев А.И., Сухомлин Р.А. Оценивание хаотических ритм-сигналов в задачах диагностики динамических систем	145
Деревянко А.И., Сяо Цзефан Фрактальная модель коррозии поверхности металлов	152
Мазурок Т.Л. Синтез гибридной модели синергетического управления	157
Быковец В.В., Бойко М.Н., Власова Е.Н., Михалев А.И. Прогнозирование прочности железорудных окатышей на основе нечеткого вывода.....	164

РЕФЕРАТЫ

УДК 669.004.8:622.785

Мішалкін А.П., Перескока В.В., Власенко В.М., Камкін В.П. **Удосконалення шлакоутворення у сталеплавильних процесах шляхом застосування підготовлених техногенних відходів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.3 - 9.

Наведені результати досліджень з розробки схем комплексної підготовки вихідних та варіантів застосування досліджених матеріалів. Обґрунтован вибір вихідних компонентів та режимів їх теплової або відновлювально – теплової обробки (ВТО), з урахуванням вихідних властивостей компонентів відходів, фізико – хімічних перетворень в процесі ВТО. Визначені найбільш раціональні напрямки використання отриманого напівпродукту з новими здобутими властивостями.

Бібл.10.

УДК 506+510

Баклан И.В. **Лингвистическое моделирование: основы, методы, некоторые прикладные аспекты** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.10 - 19.

Рассматриваются основы лингвистического моделирования - одного из новых направлений нечислового моделирования. Предложен новый подход для представления временных рядов, особенности лингвистизации временных рядов, а также применение лингвистического моделирования для решения задач прогнозирования временных рядов, аутентификация пользователя по его движениям мышкой, распознавание эмоционального состояния пользователя и ранняя диагностика нарушения движений. В основе лежит процесс восстановления формальной грамматики.

Библ. 11, ил. 0, табл. 0.

УДК 519.6

Гожий А.П. **Особливості побудови інформаційно-аналітичних систем для вирішення завдань сценарного планування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.20 - 25.

Розглянуті різні особливості і аспекти побудови інформаційно-аналітичних систем для вирішення завдань сценарного планування. Приведена інформаційна модель сценарію. Розглянута архітектура інформаційно-аналітичної системи. Наведено приклад реалізації системи.

Бібл. 8

УДК 519.686.4

Гужов В.О., Чала Л.Е., Чижевський А.В. **Метод пошуку інформації в соціальній мережі «Науковці України» за онтологічною моделлю** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.26 - 32.

Статтю присвячено аналізу проблеми пошуку даних в соціальних мережах. Показано перспективність використання онтологічних моделей для реалізації семантичного підходу до обробки запитів користувачів соціальних мереж. Побудовано онтологічну модель соціальної мережі «Науковці України», яку призначено для забезпечення координації

наукової та педагогічної діяльності вітчизняних вчених. Запропонований алгоритм семантичного пошуку інформації за розробленою онтологічною моделлю.

Бібл. 3, іл. 1.

УДК 621.396:681.3.07

Дробахін О.О., Доронін О.В., Привалов Є.М. **Вдосконалення засобів визначення місця розташування об'єктів у вільному просторі мікрохвильовим інтерференційним методом на основі математичної моделі відбиття** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.33 - 39.

Розроблені шляхи підвищення точності визначення місць розташування об'єктів інтерференційним методом на основі синтезу нейронної мережі за даними електродинамічної математичної моделі системи антена-відбивач для об'єктів з плоскими та неплоскими відбиваючими поверхнями.

Бібл. 5.

УДК 621.391

Дробахін О.О., Лебедев С.Г., **Оцінка частоти синусоїдального сигналу за наявності імпульсних завад шляхом мінімізації цільової функції побудованої на основі функціоналу квазітривалості** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.40 - 45.

Запропонований метод оцінки частоти синусоїдального сигналу за наявності викидів. Оцінка частоти проводиться на основі коефіцієнтів лінійного прогнозування, отриманих шляхом мінімізації функціоналу квазітривалості із застосуванням генетичних алгоритмів.

Бібл. 5, іл. 4.

УДК 519.24:681

Кошулян О.В., Малайчук В.П. **Сингулярний спектральний аналіз замкнутих просторових рядів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.46 - 51.

Розглядається модифікований алгоритм сингулярного спектрального аналізу просторових замкнутих рядів. Досліджена робота алгоритму на вимірюваннях залишкових напружень залізничних коліс та вимірюваннях напруженості магнітного поля зварних з'єднань, які уявляють собою замкнуті просторові ряди. Показано, що урахування властивості замкнутості вихідного ряду при побудові траєкторної матриці дозволяє розкласти його на такі ж замкнуті складові.

Бібл. 2, іл. 2.

УДК 681.3:519.2

Кіріченко Л.О., Радівілова Т.А., Кайалі Е. **Аналіз методів підвищення QoS в мережах MPLS з урахуванням самоподібності трафіку** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.52 - 59.

У роботі розглянуті існуючі механізми підвищення QoS і методи управління трафіком в мережах MPLS. За допомогою імітаційного моделювання проведено дослідження застосування даних методів у мережах MPLS, що функціонують в умовах самоподібного трафіку.

Бібл. 14

УДК 519.16

Ковалюк Т.В., Иващенко Д.С., Шумар. О.И. **Программные средства информационной поддержки принятия решений в условиях угрозы экологической безопасности** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.60 - 65.

В статье рассмотрена проблема предоставления пользователям информации об оптимальном комплекте средств экологической защиты, которая гарантирует безопасность пребывания в заданном регионе. Описанная постановка задачи выбора оптимального комплекта средств защиты человека от влияния экологических факторов. Рассмотренный метод, что позволяет на основе информации о доступных средствах защиты, существующих нормах действия вредных факторов на человека и данных об экологической обстановке в заданном регионе, получить рекомендации по обеспечению безопасности населения.

Библ.6.

УДК 551.501

Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И., Скалзуб В.В., Доронина Ю.В. **Напівмарківська модель інформаційної системи збору і обробки даних з урахуванням блокувань пристроїв** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.66 - 71.

У статті розглядається напівмарківська модель функціонування укрупненої інформаційної системи з урахуванням взаємних блокувань вхідних в неї пристроїв. Визначена функція розподілу часу, що витрачається другим пристроєм на збір інформації з урахуванням його блокувань першим пристроєм і можливим повторним збором даних з пристроїв попередньої обробки.

Библ.2.

УДК 57.087.1

Кузнєцов К.А., Мозгова І.В., Шегада К.В. **Зменшення простору признаков в задачі бінарної класифікації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.72 - 77.

Розглядається проблема вибору інформативних генів в задачах медичної діагностики. Пропонується новий підхід до розв'язання поставленої задачі, який включає в себе фільтрацію, локальний пошук у просторі ознак, і машин опорних векторів, як класифікаторів. Наводиться результат застосування запропонованого алгоритму до реального масиву даних.

Бібл. 8, табл. 2.

УДК 519.711.2

Кузнєцов Д.И., Купин А.И. **Метод мониторинга использования электроэнергии электрооборудованием средствами нейросетей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.78 - 85.

Показанная актуальность автоматизированного мониторинга энергопотребления электрооборудованиям. Предложенный метод мониторинга использования электроэнергии с использованием спектр-токового анализа с использованием быстрого преобразова-

ния Фурье. Разработана и испытана программная модель автоматизированного мониторинга на основе применения технологии нейросетей.

Бил. 6, ил. 8.

УДК 004.942

Купин А.И., Музыка И.О. **Подход к идентификации параметров моделей технологических процессов горного производства** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.86 - 93.

Рассмотрены вопросы построения математической модели с помощью регрессионного анализа. Исследована возможность применения имитационного моделирования в условиях горного производства. Установлена зависимость точности аппроксимации линейной регрессионной модели от числа независимых предикторных переменных та от количества экспериментов обучающей выборки.

Бібл. 6, іл. 4, табл. 1.

УДК 681.5

Осинський Ю.О., Копп В.Я., Лазарева Є.В., Філіпович О.В. **Цифрова система автоматичного керування (САК) коливальним кроковим пневмоприводом поворотної дії** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.94 - 102.

Розглядається спосіб побудови цифрової системи керування кутом повороту вихідного елемента коливального крокового пневмоприводу поворотної дії. Приводиться алгоритм програмного керування та приклад моделювання динаміки привода з його використанням.

Бібл. 2, іл. 2.

УДК 681.3: 541.136

Беда М.О., Житник М.Я., Лісничий В.М., Плаксін. С.В. **Комп'ютерна обробка хронопотенціограмм для контролю параметрів процесу в хімічному джерелі струму** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.103 - 110.

Запропоновано методику комп'ютерної обробки хронопотенціограмм, що відображають реакцію хімічного джерела струму (ХДС) на імпульс струму. Дана методика відпрацьована на прикладі визначення такого важливого кінетичного параметра електрохімічного процесу, як струм обміну, знання якого дозволяє контролювати динаміку електрохімічного процесу і здійснювати управління режимами роботи ХДС адекватно його енергетичному стану.

Бібл. 7, іл. 3.

УДК 004.896

Селиванова А.В., Селиванов А.П., Мазурок Т.Л. **Моделирование управления обобщенной холодильной установкой в компьютерном тренажере** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.111 - 117.

В работе показана необходимость создания модели управления обобщенной холодильной установкой при разработке компьютерного тренажера. Исследована созданная математическая модель процессов пуска и выхода на режим обобщенной холодильной установки на базе одноступенчатой аммиачной холодильной установки, показана непри-

годность этой модели для решения некоторых задач, которые стоят перед разработчиками компьютерного тренажера, рассмотрены интеллектуальные методы моделирования управления и их преимущества.

Библ. 5, ил. 4, табл. 3.

УДК 519.62

Гришко А.О., Удовенко С.Г. **Нейромережева апроксимація Q-функцій у трейдингових системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.118 - 125.

Статтю присвячено створенню трейдингових комп'ютерних систем, що використовують нейромережеві моделі для апроксимації Q-функцій в алгоритмах навчання з підкріпленням. Розглянуто підхід до вибору структури багат шарового перцептрон, який використовується у запропонованій схемі визначення торгових стратегій. Наведено результати тестового моделювання.

Бібл. 3, табл. 1.

УДК 004.031.43

Шатовська Т.Б., Климов І.В. **Интеллектуально інформаційно-управляюча система надзвичайного реагування «Цифровий Громадянин»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.126 - 130.

Існує мобільна та веб версія інформаційної системи. За допомогою мобільної версії користувачі мають можливість відсилати повідомлення, фотографії та аудіо повідомлення на сервер, де вони миттєво обробляються системою та відсилаються відповідних служб. Сервіси Google дозволяють автоматично нанести на карту координати події. Веб застосування дозволяє інтегруватися з соціальними службами міста, проводити обмін інформацією, висвітлювати статус. Кожен житель міста може коментувати події, висловлювати свої побажання щодо оперативності обробки заявок службами міста та переглядати незвичайні події, що є зафіксованими на сайті.

Бібл. 7.

УДК 681.3

Шумейко О.О., Сотник С.Л. **Використання агломеративної кластеризації для автоматичної рубрикації текстів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.131 - 137.

Розглянута задача побудови автоматичного рубрикатору за допомогою агломеративної кластеризації. В якості критерію близькості використовується звідний коефіцієнт узагальненої кореляції з умовою, що випадкові величини мають нормальний розподіл і зв'язок між ними обраховується у відповідності з критерієм Стюдента. Наведено декілька модифікацій отриманого алгоритму.

Бібл.8, іл.2.

УДК 681.876.2

Бабенко Ю.В., Михальов О.І. **Дослідження та порівняльний аналіз класичного та хаотичного генетичних алгоритмів у задачах глобальної оптимізації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.138 - 144.

Проведено порівняльний аналіз роботи ГА з трьома різними генераторами випадкових чисел і хаотичного ГА оптимізації багатоекстремальних функцій Растрігіна, Швевеля і Грівонка. Показано, що класичний ГА добре справляється з рішенням задачі глобальної оптимізації, хоча і має різні швидкості визначення глобального мінімуму при використанні різних генераторів випадкових чисел. Відзначено, зокрема, що при мінімізації функції Грівонка тільки генератор Urand показав найкращу збіжність до мінімуму. Показано, що модифікація ГА, що заснована на застосуванні хаотичного генератора Лоренца в механізмі мутації, вимагає подальшого дослідження і може проявити свою ефективність при оптимізації зашумлених багатоекстремальних функцій та / або в умовах повної їх невизначеності.

Бібл. 6, іл. 4, табл. 3

УДК 537.86

Михальов О.І., Сухомлин Р.О. **Методологічні підходи до проблеми оцінювання хаотичних ритм-сигналів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.145 - 151.

У статті досліджується два класи методів оцінювання ритм-сигналів, які використовуються для створення діагностичної системи: методи аналізу хаотичних систем, методи аналізу варіабельності ритм-сигналу. Для визначення їх ефективності досліджується ЕКГ людини зі шлуночковою тахікардією. Результати дослідження показують, що застосування даних методів значно підвищує точність прийнятого експертом в процесі діагностики рішення.

Бібл. 6, іл. 4, табл. 1.

УДК 669.504

Деревянко О.І., Сяо Цзефан **Фрактальна модель корозії поверхні металів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.152 - 156.

Запропонована фрактальна модель процесу корозії металів, що дозволяє прогнозувати ефект лавинного росту очагів корозії. Проведений порівняльний аналіз результатів чисельного та фізичного експериментів показав, що виникнення кросоверу оцінки фрактальної розмірності пов'язано з початком формування пухких кордонів очагів корозії.

Бібл. 6, іл. 5, табл. 1.

УДК 681.335:004.891

Мазурок Т.Л. **Синтез гібридної моделі синергетичного управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.157 - 163.

Проаналізовано структурно-функціональну схему управління індивідуалізованим навчанням. Запропоновано гібридну модель реалізації синергетичного управління навчанням на основі синтезу нейрон-нечіткого управління та еволюційної оптимізації. Досліджено основні елементи моделі, особливості їх об'єднання. Наведено результати практичного використання в середовищі Matlab.

Бібл. 6, іл. 1.

УДК 681.3.068:669.162.12

Биковець В.В., Бойко М.М., Власова Є.М., Михальов О.І. **Прогнозування міцності залізорудних обкотишів на основі нечіткого виводу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (74). - Днепропетровск, 2011. - с.164 - 168.

У статті розглянуті питання прогнозування міцності залізорудних обкотишів. Розроблено модель прогнозу міцності на основі нечіткої логіки. Наведено поверхні нечіткого виводу для розробленої нечіткої моделі прогнозу міцності обкотишів.

Бібл 10, іл 2.

UDC 669.004.8:622.785

Meshalkin A.P., Pereskoka V.V., Vlasenko V.N., Kamkin V.P. **Improving of slag-making in steelmaking processes by using of prepared man-made waste** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.3 - 9.

Presented the results of studies for development of schemes of combined preparing of initial and options of application of developmental materials. The choice of the initial components and their modes of heat or replacement - heat treatment (RHT), with the initial properties of the waste components, physical - chemical reactions in the RHT. Determined the most rational ways of using the resulting intermediate product with the new properties.

Bibl.10.

UDC 506+510

Baklan I.V. **Linguistic modeling: foundations, methods, some applied aspects** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.10 - 19.

The basics of linguistic modeling - one of the new directions non-numeric simulation. A new approach to represent time series, especially lingvistization time series, as well as the application of linguistic modeling for solving time series prediction, user authentication on its movements with the mouse, the recognition of the emotional state of users and early diagnosis of disorders of movement. It is based on the recovery process of formal grammar.

Bibl. 11, ill. 0, tabl. 0.

UDC 519.6

Gozhiy A.P. **Features of construction of the informations-analitical system for the decision of tasks of the scenario planning of** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.20 - 25.

Different features and aspects of construction of the информационно-аналитических systems are considered for the decision of tasks of the scenario planning. The informative model of scenario is resulted. Architecture of the informations-analitical system is considered. The example of realization is resulted.

Bibl. 8

UDC 519.686.4

Guzhov V.A., Chalaya L.E., Chizhevskiy A.V. **Information retrieval method in "Scientist of Ukraine" social network on ontological models** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.26 - 32.

This paper addresses the problem of the operativ data search in the social network. Regards issues of semantic searchimplementation that uses ontology to solve the task of finding documents by their content. Also considered some aspects of its implementation in "Scientists of Ukraine" social network. The algorithm semantic information search on the ontological model is considered.

Bibl. 3

UDC 621.396:681.3.07

Drobakhin O.O., Doronin A.V., Privalov Ye.N. **Imrovement of facilities of object position determination in free space by the interference microwave method on the basis of mathematical model of reflection** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.33 - 39.

The method of improvement of object location accuracy with interference method using neuralnetwork synthesis on the basis of electrodynamic mathematical model of the system antenna-reflector for objects with flat and non-flat surfaces has been elaborated.

Bibl. 5

UDC 621.391

Drobakhin O.O., Lebedev S. G. **Sinusoidal signal frequency estimation in presence of impulse disturbances by minimization of objective function based on quasiduration functional** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.40 - 45.

A method of sinusoidal signal frequency estimation is suggested. Frequency estimation is made using linear prediction coefficients which have been obtained by minimizing quasiduration functional with genetic algorithms.

Bibl. 5, pic. 4.

UDC 519.24:681

Koshulyan A., Malajchuk V. **Singular Spectrum Analysis of the solid series** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.46 - 51.

A modified algorithm of singular spectrum analysis for solid series is presented. The algorithm working is investigated on the base of the wheel residual stress measurements and on the measurements of magnetic field strength around the welding joints which are considered to be solid series. When building the trajectory matrix taking account of a solid property of initial series is supposed to allow splitting it on such solid components.

Bibl. 2, ill. 2.

Kirichenko L.O., Radivilova T.A., Kajali E. **Methods for improving QoS in MPLS networks under selfsimilar loading** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.52 - 59.

In this paper we review mechanisms for improving QoS and traffic management techniques in MPLS networks. With the simulation we have investigated these methods in the networks, operating under self-similar traffic.

Bibl. 14.

UDC 519.16

Kovaliuk T.V., Ivaschenko D.S., Shumar O.I. **Software environment of information support of making decision in the conditions of the threat ecological safety** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.60 - 65.

The article considers the problem of providing users with information about the optimal set of environmental protective kits, which guarantees safety stay in specific area. It describes the problem statement of selection an optimal set of remedies. It considers a method of obtaining recommendations to ensure environmental safety of the population, based on the data about available remedies and active hazard.

Bibl. 6.

UDC 551.501

Kopp V.J., Obzheryn J.E., Peschansky A.I., Skalozub V.V. Doronyina Y. **Semi-markovian model of informative system of collection and treatment of the devices given taking into account blocking** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.66 - 71.

In the article the semi-markovian model of functioning of the large-sized informative system is examined taking into account the interlocks of incoming in it devices. The function

of distributing of time, expended the second device on collection of information taking into account his blocking by the first device and possible repeated capture of data from the devices of rough-down is certain.

Bibl.2.

UDC 57.087.1

Kuznetsov K.A., Mozgovaya I.V., Shegeda K.V. **Feature selection in binary classification problem** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.72 - 77.

The problem of feature selection for medical diagnostics is being reviewed. A new approach for solving this problem is proposed. It includes filtration, local search in the feature space, and uses support vector machines as classifier. Results of applying proposed algorithm to real datasets are listed.

Bibl. 8, tables 2.

UDC 519.711.2

Kuznetsov D.I., Kupin A.I. **Method of monitoring of the use of electric power the electrical equipment of neuronetwork** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.78 - 85.

Rotined actuality of the automated monitoring of energy consumption electrical equipments. Offered method of monitoring of the use of electric power with the use of spectrum-current analysis with the use of fast Fourier transformation. Developed and tested programmatic model of the automated monitoring on the basis of application of technology of neuronetwork.

Bibl. 6, pic. 8.

UDC 004.942

Kupin A.I., Muzyka I.O. **Method of parameters identification of technological models of mining manufacture** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.86 - 93.

Questions of mathematical model creation by regression analysis are considered. Application possibility of simulation in the conditions of mining manufacture is investigated. Dependence of approximation accuracy of linear regression model on number of independent predictors and on quantity of experiments of training sample is established.

Bibl. 6, pic. 4, tabl. 1.

UDC 681.5

Osinsky Yu.A., Kopp V.Ya., Lazareva E.V., Filipovich O.V. **Digital system of automatic control (SAC) an oscillatory step-by-step pneumodrive of rotary action** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.94 - 102.

The method of construction of a digital control system by an angle of rotation of a conducted element of oscillatory step-by-step rotary action pneumodrive is considered. The algorithm of programmed control and an example of modeling of a drivedynamics with its use is resulted.

Bibl. 2, ill.2.

UDC 681.3: 541.136

Beda M.A., Zhitnik N.E., Lesnichiy V.N., Plaksin S.V. **The computer processing a chronopotentiogram for control a parameters process on the chemical power source** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.103 - 110.

For mapping reaction the chemical power source on the impulse current was offered the method of the computer processing a chronopotentiogram. This technique worked out by the determination of such an important kinetic parameter of the electrochemical process, as the current exchange, knowledge of which allows you to control the dynamics of the electrochemical process and manage the operating modes of HIT adequately its energy state.

Bibl. 7, pic. 3.

UDC 004.896

Selivanova A., Selivanov A., Mazurok T. **Modeling of control by the generalized refrigerating machinery in a computer training simulator** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.111 - 117.

In operation necessity of creation of a control model is shown by the generalized refrigerating machinery by development of a computer training apparatus. The created mathematical model of processes of start-up and an output on a mode of the generalized refrigerating machinery on the basis of the one-step ammonia refrigerating machinery is researched, unfitness of this model for the decision of some tasks which face developers of a computer training apparatus is shown, intellectual methods of modeling of control and their advantage are considered. developers of a computer training apparatus is shown, intellectual management methods and their advantages are considered.

Bibl. 5, pic. 4, tab. 3.

УДК 519.62

Hryshko A.A., Udovenko S.G. **Neural network approximation of Q-functions in trading systems** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.118 - 125.

This paper is devoted to synthesis of trading computer systems using neural network models for approximation of Q-function in algorithms of reinforcement learning. The approach to the choice of structure of multilayer perceptron, which is used in the proposed scheme the definition of trading strategies is offered. The results of test simulations are presented.

Bibl. 3.

UDC 004.031.43

Shatovskaya T.B., Klimov I.V. **Intellectually information management system of emergency response "Digital Citizen"** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.126 - 130.

There is a mobile and web version of the information system. With the mobile version, users can send messages, pictures and audio messages on the server where they are instantly processed by the system and sent to the operators of the services. The use of Google services to automatically map the coordinate of events. Web application allows you to integrate with relevant social service agencies of the city, to share information on applications, cover the status of claims processing. Every resident has the opportunity to comment on events, to express their wishes for expediting the processing of city services, and view unusual events, which are fixed on the site.

Bibl. 7.

UDC 618.3

Shumeyko A.A., Sotnik S.L. **Usage of Agglomerative Clustering for Automatic Categorization of Text** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.131 - 137.

The problem of automatic categorization with the help of agglomerative clustering is considered. As a proximity criterion generalized correlation coefficient is used assuming that random quantities have normal distribution and correlation between them is calculated in accordance with Student's t-distribution. Several modifications of the algorithm got are given.

Ref.8, illus. 2.

UDC 681.876.2

Babenko Yu.V., Mikhalyov O.I. **Research and comparative analysis of classical and chaotic genetic algorithms in global optimization problems** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.138 - 144.

A comparative analysis of the GA with three different random number generators and chaotic GA optimization multimodal Rastrigin, Shwefel and Griewank functions. Shown that the classic GA copes well with a solution of global optimization, although it has different rate determining global minimum with different random number generators. Noted in particular that of minimizing the Griewank function generator Urand only showed the best convergence to a minimum. Shown that modification of GA, which relies on the chaotic Lorenz oscillator in the mechanism of mutation, requires further investigation and may prove to be effective in optimizing noisy multimodal functions and / or in full of uncertainty.

Ref. 6, fig. 4, tab. 3

UDC 537.86

Mikhalyov A.I., Suhomlin R.A. **Methodological approaches to problem of estimating the chaotic rhythm-signals** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.145 - 151.

The article deals with two classes of methods for estimating the rhythm-signals that are used to create the diagnostic system: methods of analysis of chaotic systems, methods of analysis HRV signal. To determine their effectiveness investigated human ECG with ventricular tachycardia. The results show that the application of these methods greatly increases the accuracy adopted by the expert in the diagnostic process solutions.

Lib.6, pic.4, tab.1.

UDC 669.504

Derevianko A.I., Xiao **Jiefang Fractal model of corrosion of metal surfaces** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.152 - 156.

Proposed a fractal model of the corrosion of metals, allowing to predict the effect of the avalanche growth of corrosion. The comparative analysis of numerical and physical experiments showed that the occurrence of crossover evaluation of the fractal dimension associated with the beginning of the formation of loose boundaries of corrosion.

Bibl.6, ill.5, Table.1.

UDC 681.335:004.891

Mazurok T.L. **Synthesis of a hybrid model of synergetic control** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.157 - 163.

Analyzed the structural and functional control scheme individualized learning. Proposed a hybrid model of the implementation of the synergistic learning control based on the synthesis of neuro-fuzzy control and evolutionary optimization. The basic model elements, features of their association are investigated. Results of practical application in the environment Matlab are offered.

Ref.6, fig.1.

UDC 681.3.068:669.162.12

Bykovets V.V., Boyko M.N., Vlasova E.N., Mikhalev A.I. **Iron ore pellets strength forecasting, based on fuzzy inference** // System technologies. N 3(74) - Dnipropetrovsk, 2011.- P.165 - 168.

The questions of iron ore pellets strength forecasting are considered. The model of pellets strength prediction based on fuzzy logic is proposed. The surface of the fuzzy output for the developed fuzzy model of iron ore pellets strength is shown.

Ref. 10, fig. 2

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Мешалкин Анатолий Павлович** - доцент каф. ТМП и ФХ НМетАУ.
- Перескока Виктория Владимировна** - аспирант каф. ТМП и ФХ НМетАУ.
- Власенко Валентина Николаевна** - доцент каф. ТМП и ФХ НМетАУ.
- Камкин Валерий Павлович** - ст. науч. сотр. каф. ТМП и ФХ НМетАУ.
- Баклан Ігор Всеволодович** – к.т.н., доцент, завідуючий кафедрою інтелектуальних систем, Національна академія управління.
- Гожий Александр Петрович** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой Информационных технологий и программных систем, декан факультета компьютерных наук Черноморского государственного университета им. П.Могилы.
- Гужов Вячеслав Александрович** - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студент.
- Чалая Лариса Эрнестовна** - к.т.н., с.н.с., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент каф. Искусственного интеллекта.
- Чижевский Антон Валерьевич** - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студент.
- Дробахин Олег Олегович** – заведующий кафедрой прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, доктор физико-математических наук, профессор.
- Доронин Алексей Владимирович** – младший научный сотрудник Института Технической Механики.
- Привалов Евгений Николаевич** – заведующий отделом Института технической механики, кандидат физико-математических наук, доцент.
- Лебедев Сергей Геннадиевич** – аспирант кафедры прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.
- Кошулян А.В.** - Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара.
- Малайчук Валентин Павлович** - професор, доктор технічних наук, Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.
- Кириченко Людмила Олегівна** - к.т.н., доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент каф. Прикладной математики.
- Радивилова Тамара Анатольевна** - к.т.н., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель, каф. Телекоммуникационных систем.
- Кайали Эйаз** - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант каф. Прикладной математики.
- Ковалюк Тетяна Володимирівна** – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут».
- Іващенко Дмитро Сергійович** - студент 4-го курсу Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут».
- Шумар Олег Ігорович** - студент 4-го курсу Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут».
- Копп Вячеслав Яковлевич** - проф., д.т.н., Севастопольский национальный технический университет.

Обжери Юрий Евгеньевич - проф., д.т.н., Севастопольский национальный технический университет.

Песчанский А.И. - доц., д.т.н., Севастопольский национальный технический университет.

Скалозуб Владислав Васильевич - д.т.н., проф., зав. кафедры КИТ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЗТ).

Доронина Ю.В. - доц., к.т.н., Севастопольский национальный технический университет.

Кузнецов К.А. – доцент кафедры Программного обеспечения ЭВМ Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Мозговая И.В. – студентка 4-го курса факультета прикладной математики Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Шегеда К.В. – студент 4-го курса факультета прикладной математики Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Купін Андрій Іванович – д.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж КТУ, Криворізький технічний університет (КТУ).

Кузнецов Денис Іванович – аспірат, Криворізький технічний університет.

Музика Іван Олегович - аспірат, Криворізький технічний університет.

Осинский Юрий Александрович - доцент, генеральный директор ДП «Фесто-Украина».

Лазарева Екатерина Викторовна - к.т.н., Севастопольского национального технического университета.

Филипович Олег Вікторович - к.т.н., доцент, доцент каф. автоматизированных приборных систем Севастопольского национального технического университета.

Плаксин Сергей Вікторович - зав. отд. систем управления, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг».

Житник Николай Евтифиевич - научный сотрудник, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг».

Беда Максим Александрович - инженер 2-й категории, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг».

Лесничий Виктор Николаевич - заместитель генерального директора научно-технического центра, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг».

Селіванова Алла Віталіївна - аспірантка, асистент кафедри інформаційних технологій, Одеська державна академія холоду.

Селіванов Артем Павлович - викладач комісії холодильно-компресорних машин і установок, Одеський технічний коледж Одеської державної академії харчових технологій.

Мазурок Тетяна Леонідівна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, Одеська державна академія холоду.

Гришко Андрей Александрович - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант каф. Электронных вычислительных машин.

Удовенко Сергей Григорьевич - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, д.т.н., проф., профессор каф. Электронных вычислительных машин.

Шатовская Татьяна Борисовна - доцент, ХНУРЭ.

Климов Илья Владимирович - студент, ХНУРЭ.

Шумейко Александр Алексеевич - ректор областного коммунального высшего учебного заведения «Институт предпринимательства «Стратегия»» г. Желтые Воды.

Сотник Сергей Леонідович - Iveonik Systems, г. Днепродзержинск.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., профессор, зав. кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Бабенко Юлия Васильевна – студентка 5 курса кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Сухомлин Роман Александрович – студент 5 курса кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Деревянко Александр Иванович – доцент, к.т.н., кафедра информационных технологий и систем, НМетАУ.

Сяо Цзефан – аспирант, кафедра информационных технологий и систем, НМетАУ.

Мазурок Татьяна Леонидовна - к.т.н., доцент кафедры прикладной математики и информатики, Южноукраинский национальный педагогический университет им. К.Д. Ушинского (г. Одесса).

Быковец Виталий Валерьевич – ассистент каф. ИТС, НМетАУ.

Бойко Максим Николаевич – к.т.н., доцент кафедры чугуна, НМетАУ.

Власова Елена Николаевна – ст. научный сотрудник каф. ИТС НМетАУ.