

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ БОРЬБЫ С АНТРОПОГЕННЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ БЛИЖНЕО КОСМОСА

Аннотация. Представленные в докладе результаты отражают возможность изменения концепции борьбы с загрязнением околоземного космического пространства. Выполнен краткий анализ различных аспектов информационного моделирования и борьбы с загрязнением околоземного космического пространства, включая различные методы предотвращения образования фрагментов мусора антропогенного происхождения. Сформулированы научные задачи, включая энтропийный подход к моделированию процессов развития облака космического мусора, а также предложена новая концепция его утилизации.

Ключевые слова: космический мусор, защита космического аппарата, очистка околоземного пространства, тросовые системы, увод космического мусора, активное удаление, кластер, орбита утилизации.

"Космический мусор, space debris" (КМ) представлен космическими объектами как искусственного, так и естественного происхождения. Это, в первую очередь, прекратившие работу объекты космической техники и их фрагменты. а также объекты космического происхождения. Более значимую часть представляют объекты антропогенного происхождения, [1]. В настоящее время на орбитах с высотами до 2000 летают несколько сотен тысяч фрагментов космического мусора. (ФКМ). Оценки количества зависят от размеров учитываемых фрагментов. Особенно высока плотность КМ на так называемых рабочих орбитах, тех которые максимально соответствуют функциональному назначению космического аппарата (КА).

Угроза столкновения с орбитальным мусором для действующих КА или пилотируемых кораблей является одним из основных факторов безопасности функционирования космических систем в околоземном пространстве. В районе околоземных орбит до высот около 2000 км находится, по разным оценкам, порядка 220 тыс. (300 тыс. по

данным Управления ООН по вопросам космического пространства, 2009 [2]) техногенных объектов общей массой до 5800 тонн. Число объектов более 1 см неопределенно и может достигать 60000 – 100000. Примерно 10% внесены в каталоги с помощью наземных радиолокационных и оптических средств [1, 2].

Распределение мусора по размерам на низких орбитах примерно следует степенному закону, где количество фрагментов резко возрастает с уменьшением размера. Поэтому основная угроза столкновений исходит от мелких фрагментов мусора. Эти частицы мусора слишком малы, чтобы отслеживаться средствами наблюдения, но обладают достаточной кинетической энергией, чтобы нарушить работу активных КА. В этой связи интересен информационный подход к проблеме моделирования облака КМ, основанный на энтропийных оценках.

По данным Nicholas Johnson (НАСА) почти ежегодно отдельные фрагменты спутников или ракет достигают поверхности. В связи с этим Межагентским координационным комитетом разрабатывается концепция активного удаления мусора, (active debris removal, ADR).

Одной из актуальных задач описания и прогноза развития процессов загрязнения ближнего космоса является математическое моделирование "космического мусора" и создание международных информационных систем для прогноза засоренности ОКП и ее опасности для космических полетов, а также информационного сопровождения событий опасного сближения КО и их неконтролируемого входа в плотные слои атмосферы, [3].

Проблема космического мусора имеет несколько составляющих: научную, техническую, юридическую, экологическую и технологическую. Различные аспекты проблемы КМ периодически обсуждается на многочисленных комитетах и комиссиях международных организаций, таких как Международная астронавтическая федерация (IAF), Комитет по Исследованию Космического пространства Международного совета Научных союзов (COSPAR), Международный союз электросвязи (ITU), Международный институт космического права (ISJ). Последние десятилетия проблема изучается и подвергается международной координации в Межагентском координационном комитете по космическому мусору (IADC) и Научно-техническом подкомитете

тет Комитете ООН по использованию космического пространства в мирных целях (STCS UN COPUOS).

Первой и совершенно понятной проблемой является предупреждение дальнейшего накопления КМ на околоземных орбитах. Это означает необходимость строгого выполнения руководящих принципов, разработанных IADC. Вместе с тем возникает коллизия, связанная с необязательностью выполнения этих требований странам, реализующими космические технологии и обеспечивающих космические услуги. Особенно критичными являются технологии двойного и военного назначения, в ходе реализации которых не всегда обеспечиваются интересы международного сообщества.

Следует заметить, проблема очистки космического пространства связана с юридическим статусом крупных (идентифицированных) фрагментов космического мусора. Несанкционированный увод фрагментов может быть поводом для международных правовых коллизий [1–4].

Проблема возрастающего загрязнения околоземного космического пространства привела к оживлению исследований в этих направлениях. Подходы к очистке существенным образом зависят от размеров фрагментов КМ, что, в свою очередь, предполагает развитие соответствующих адекватных технологий, которые можно разбить на два больших класса: контактные и бесконтактные. Контактные технологии влекут необходимость решения локальных и глобальных навигационных задач, использования соответствующего оборудования и энергетического обеспечения. Для бесконтактных технологий требования по сближению фрагмента КМ и обслуживающего аппарата мягче и набор возможных технологических подходов по удалению КМ, видимо, шире. К числу бесконтактных относятся методы на основе использования ионного пучка, который формируется с помощью электро-реактивного двигателя или струи газа; методы, основанные на применении лазера; методы, основанные на применении магнитных взаимодействий с физическими полями (проект LEOSWEEP) .

В ИТМ НАНУ_ГКАУ разрабатываются аэродинамические системы увода космических объектов с околоземных орбит [14]. В последние годы появился ряд проектов космических надувных конструкций. Накопленный опыт создания надувных космических аэродинамических систем послужил созданию целого класса аэродинамиче-

ских систем увода (АСУ). АСУ можно разделить на две группы: АСУ на основе одиночных или сгруппированных оболочек; и АСУ на основе развёртываемых плёночных каркасных и бескаркасных конструкций. Существует большой массив конструктивных решений, многие из которых защищены патентами. Такая технология значительно сокращает время пребывания нефункционирующих объектов ракетно-космической техники на рабочей орбите

Задачи, которые приходится решать при создании таких систем связаны с выбором материала и разработкой конструктивных схем, обеспечивающих необходимую продолжительность их эксплуатации в условиях космического пространства, а также схем развёртывания, например, радиальное выдвижение, радиальное раскручивание, спиральное развёртывание, скользящее складывание и т. д. Кроме того, аэродинамическая поверхность должна быть разработана таким образом, чтобы функционировать в качестве устройства торможения при любом пространственном положении спутника. Это позволяет исключить увеличение массы этого спутника, а также необходимость сохранения запаса топлива после окончания миссии данного спутника.

Крупные объекты несут в себе особую опасность реализации эффекта Кesslera, то есть опасность возникновения коллизий и, как результат столкновения космических объектов на орбите, – возникновение облака обломков. По этой причине специалистами Межагентского комитета по космическому мусору предложена идея и сформулирована концепция активного удаления крупногабаритных фрагментов КМ. Эта концепция предполагает создание специальных систем – буксировщиков для удаления этих крупных фрагментов в плотные слои атмосферы.

Привлекает внимание разработчиков идея солнечного паруса. Причин несколько, основная состоит в том, что солнечное излучение является прямым источником энергии. Давление солнечного излучения, как физический фактор, может быть использовано практически в любой точке околосолнечного пространства. [2, 3, 15]. Surrey Space Centre работает над HybridSail — системой, объединяющей большой развёртываемый отражающий парус с тросами для буксировки объектов с орбиты. Система будет сводить объекты с орбиты за счет аэро-

динамического сопротивления и обмена импульсом с заряженными тросами и ионосферной плазмой.

Отдельной трудной задачей борьбы за чистоту орбит является задача удаления мелкого мусора. Трудно разрешимыми являются задачи и обнаружения и удаления мелкого мусора. Существует идея формирования облака вольфрамовой пыли на орбите для создания местного атмосферного сопротивления. С увеличением лобового сопротивления высота орбит должна интенсивнее уменьшаться и мелкие фрагменты мусора постепенно сходили бы со своих орбит в течение нескольких десятилетий. Идея, похожая на вариант с вольфрамовой пылью предложена Джеймсом Холлопетером из GIT Satellite. По его мнению в космос можно отправить ракеты, заполненные водой. После того как они выгрузят свой груз на орбите, появится поле кристаллизовавшейся воды, в которое будет попадать орбитальный мусор и сходиться с орбиты. К сожалению, идея грешит противоречием: непонятно, почему орбитальный мусор начнет терять высоту. Просто количество мусора на орбитах, в виде кристаллов льда, увеличится. И будут эти кристаллы льда двигаться с соответствующей орбитальной скоростью по своим орбитам [2, 3].

Одним из продуктивных подходов к очистке околоземного космического пространства от фрагментов КМ малых размеров (порядка сантиметра и менее) может оказаться их увод с орбиты с помощью лазера и уничтожение в атмосфере Земли. Предварительные оценки производительности такого комплекса позволяют утверждать, что с его помощью большая часть мусора указанных размеров может быть устранена с низких орбит за пятилетний интервал времени. Конечно, следует критично относиться к таким оценкам, вместе с тем идея уничтожения этой категории КМ таким методом представляется достаточно реалистичной. Одним из узких мест является получение необходимых объемов энергии. Известен еще один подход к использованию связки мощного телескопа и мощного лазера. Он состоит в том чтобы с помощью энергии лазерного луча уничтожать частицы КМ малых размеров, которые представляют опасность для эксплуатируемых космических объектов.

Расширение области орбитального применения манипуляторов связано с созданием систем борьбы с космическим мусором. При этом ужесточаются функциональные требования как к самим механизмам,

так и к системам управления этими манипуляционными устройствами, которые предназначены как для захвата фрагментов КМ, так и для различных операций транс-портировки [16].

Функциональная система состоит из орбитального корабля или специализированного КА и фрагмента КМ (ФКМ), соединенных многозвенным, как правило, антропоморфным манипуляционным механизмом, образованным вращательными кинематическими парами пятого класса. Взаимное положение элементов системы "КА–манипулятор–ФКМ" определяется действием моментов, создаваемых в шарнирах манипулятора приводами степеней подвижности. Трудности локальной навигации определяются такими свойствами:

- подвижность основания манипулятора в инерциальном пространстве;
- малая масса манипуляционного механизма по сравнению с массами КА и ФКМ;
- конечная жесткость звеньев и редукторов;
- малая мощность двигателей приводов степеней подвижности.

В последние годы широко исследуются космические тросовые системы (КТС). КТС на протяжении десятков лет рассматриваются как одно из перспективных направлений развития космонавтики [1–4]. В последние годы большое внимание исследователей уделяется электродинамическим КТС (ЭДКТС) и их использованию для создания эффективных средств увода отработавших свой срок космических аппаратов и ступеней ракет-носителей с низких околоземных орбит [3, 4, 7–12]. Применение ЭДКТС для решения этих задач представляется многообещающим и экономически целесообразным [1, 5, 7–14]. Создание эффективных ЭДКТС связано с решением сложных взаимосвязанных проблем динамики космических тросовых систем, физики плазмы, электродинамики, механики и физики космического полета, термодинамик. Сложный междисциплинарный характер исследуемых задач, тонкие специфические эффекты, проявляющиеся в ЭДКТС и оказывающие на ее работу существенное влияние, создавая объективные трудности реализации этого подхода к проблеме очистки околоземного космического пространства. Для получения адекватной математической модели движения ЭДКТС необходимы экспериментальные данные, что связано со сложной научно-технической задачей создания экспериментальных систем. Это является на текущий мо-

мент сдерживающим фактором развития технологии применения ЭДКТС для задач увода фрагментов КМ [18–20].

Солнечные электростанции космического базирования (СЭСКБ). Практически все известные технологические решения увода КМ с рабочих орбит требуют наличия запасов энергии в одной из ее форм реализации. В условиях космического пространства наиболее естественным источником энергии является излучение Солнца. Поэтому представляется перспективным использование солнечных электростанций космического базирования (СЭСКБ) для задач обеспечения в первую очередь энергоемких процессов при реализации таких технологий как бесконтактные технологии с использованием ионного луча и лазерные технологии.

В настоящее время исследования с СЭСКБ проводятся космическими агентствами США, Японии, России и Украины. Возможность строительства таких станций изучается также во Франции, Германии и Канаде. А такие компании как Boeing Aerospace Corp., Lockheed Martin, Grumman Aerospace Corp., Rockwell Inc., EADS Astrium, Ontario Power Generation, Space Energy Inc. и КБ им.Лавочкина уже выполняют практические работы, связанные с созданием солнечных электростанций космического базирования.

Учитывая массовость применения технологий увода фрагментов КМ одним из направлений их разработки является создание унифицированных модулей. Такие модули могут быть разработаны на основе активных и пассивных систем. Первые предполагают использование различных двигателей с запасами рабочего тела, последние могут быть использованы в пассивном режиме, то есть без затрат рабочего вещества.

Один из новых аспектов проблемы КМ связан с созданием перспективных технологий – сервисных операций в космическом пространстве. Сервисные системы с одной стороны позволяют продлить сроки полезной работы КА, с другой – позволяют обеспечить при необходимости увод отработанных КА из космического пространства. Предполагается, в частности, обслуживать в первую очередь метеорологические спутники и аппараты дистанционного зондирования Земли, как наиболее распространенные практические системы. В эту категорию попадают также навигационные и связные спутники. Наиболее вероятной функциональной схемой сервисного аппарата будет пи-

лотируемый вариант. Впрочем вполне возможна реализация беспилотной концепции, основанной на подходах, предполагающих сервисные операции с помощью оператора, который находится на земной поверхности [16].

В последнее время получает развитие новая концепция, в соответствии с которой космический мусор рассматривается как ресурсы индустрии на орбите [21]. Основой большинства технологий борьбы с существующим космическим мусором является идея его увода на низкие орбиты, с тем, чтобы он сгорал при входе в плотные слои атмосферы. Чем выше орбита КМ, тем больше затрат энергии необходимы для его увода в атмосферу для уничтожения. Вместе с тем в настоящее время на космических орбитах по разным оценкам находится до 7000 тонн космических обломков, содержащих в своих конструкциях дорогостоящие материалы. Выведение одного килограмма массы на орбиту стоит достаточно дорого. В зависимости от высоты орбиты – 10 тыс. долл. и больше. Поэтому имеет смысл рассмотреть существующий КМ не как мусор, а как один из видов ресурсов ближнего космоса.

Возникает новая задача, задача утилизации фрагментов КМ. На первом ее этапе нужно собрать все обломки в несколько кластеров, каждый из которых будет размещен на одной из орбит утилизации. Обломки из окрестностей этих орбит будут транспортироваться не на далекую Землю, а к ближнему центру утилизации. Таким образом, можно разработать более дешевые технологии сбора КМ с одной стороны, с другой – сохранить их как материал для будущей индустриализации космоса. Несколько десятков и даже сотен центров утилизации не будут угрозой для функционирующих КА.

На первом этапе следует выполнить кластеризацию орбит для оптимизации размещения орбит утилизации. Например, кластеры орбит ФКМ могут быть сформированы по критериям близости одного или нескольких их орбитальных параметров на основе данных каталогов ФКМ. .

В настоящее время полноценно функционируют и поддерживают в актуальном состоянии динамические каталоги объектов искусственного происхождения только две системы средств наблюдения и контроля космического пространства (СККП) в США и в России. Они создавались для обнаружения КО, представляющих

опасность с военной точки зрения. Для решения этой задачи организованы обнаружение и контроль движения не только действующих КА, но и всех остальных крупных КО.

Каталог NORAD ежедневно публикует параметры орбит более 15000 КО. Кроме того, публикуются параметры орбит КА различного функционального назначения, сгруппированные в отдельные файлы. Эта информация доступна в сети Интернет в виде текстовых файлов (см., например, <http://www.space-track.org>) , обновляемых иногда несколько раз в сутки.

Возможность ограниченного доступа к актуальному каталогу параметров орбит NORAD (объединённой системы аэрокосмической обороны США и Канады) позволила провести баллистический анализа заполнения околоземных орбит КА различного назначения.

На рис. 1 представлена блок-схема классификации околоземных орбит КА. Пунктирные линии указывают на неоднозначность определения принадлежности к группам для некоторых классов орбит.

Анализ заполнения ОКП КА различного назначения целесообразно проводить после пересчета наборов орбитальных элементов каталога КА к Кеплеровским элементам орбиты и визуализации с использованием составных гистограмм распределений количества орбит КА. Например [22], гистограммы, представленные на рис. 1,2 изображают на общих графиках распределения частот количества орбит КА связи, навигации и ДЗЗ в зависимости от Кеплеровских элементов орбиты. Частоты количества орбит КА откладываются по левой оси, а значения Кеплеровских элементов орбиты – по нижней оси будет значительно выше, чем на объектах, изготовленных на поверхности Земли. Такое оборудование будет экономически более эффективным, обладая при этом большими возможностями.

На основе подобного анализа могут быть выбраны орбиты утилизации, оптимальные по затратам энергии на перевод ФКМ, которые находятся на близких по выбранному критерию орбитах.

В настоящее время достаточно рельефно вырисовываются возможности создания технологических модулей на околоземных орбитах.. Примером может служить технологии, развиваемые компанией Made In Space, известной как компания, разработавшая 3D-принтеры, находящиеся на борту МКС. Астронавты уже не раз использовали

AMF (Additive Manufacturing Facility) на МКС для печати различных предметов.

Космические конструкции, собранные на орбите, будут оптимизированы для условий невесомости, а не для среды запуска. Это позволит заказчикам экономить на затратах.

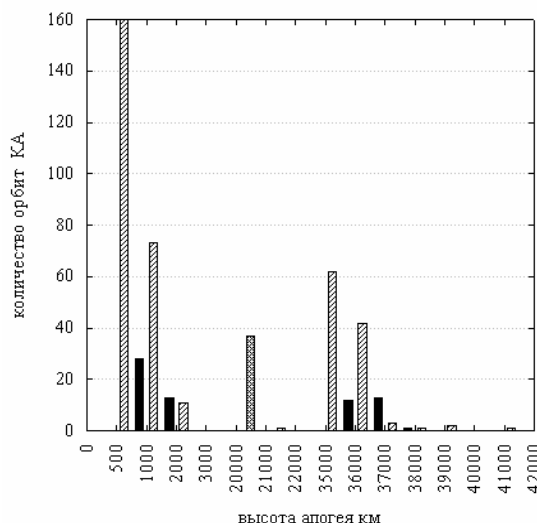


Рисунок 1 – Распределение количества орбит КА по высоте апогея

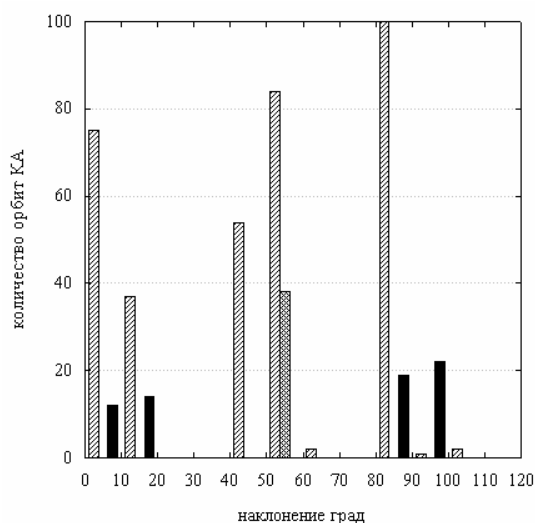


Рисунок 2 – Распределение количества орбит КА по наклонению

Заключение

Проблема космического мусора, являясь комплексной, имеет широкий спектр различных аспектов решения данной проблемы. По этой причине, в связи с необходимостью борьбы с космическим мусором, возник комплекс научных и технологических задач, порожденных особенностями указанной проблемы. К числу таковых относятся следующие задачи:

- модели прогнозирования повреждений. Анализ технологий защиты. Экспериментальные испытания высокоскоростного столкновения (High Velocity Impact - HVI);

- разработка способов борьбы с мусором в формате стандартов (Mitigation and. Standards), которые определяют основные меры по борьбе с мусором, уменьшению угроз и пассивной защите орбитальных Разработка и модернизация наземных и космических измерительных средств, развитие баз данных и методов анализа распространения космического мусора на основе инструментальных измерений;

- моделирование и оптимизация рисков (Modelling and Risk Analysis) на основе анализа характеристик текущего и будущего распространения космического мусора, развития методов орбитального анализа и оценки рисков столкновения, основанных на статистиче-

ских моделях распространения, детерминистических каталогах и активном уклонении;

- разработка специальных информационных моделей.

- разработка моделей гиперскоростных столкновений и защита (Hypervelocity Impacts and Protection). Модели предназначены для оценок возможностей пассивной защиты, экранирования и объектов. Разработка концепции удаления космического мусора (Space Debris Removal Concepts). Разработка активных способов удаления космического мусора – наземных и космических. Развитие новых подходов к активному удалению мелких фрагментов мусора на основе изменения параметров атмосферы (например, использование облака микронной пыли), для создания эффективных сил сопротивления физической среды вдоль орбиты;

- разработка методов мониторинга функционирования в среде космического мусора, контроль обстановки (Operations in Space Debris Environment, Situational Awareness). Исследуются аспекты, направленные на обеспечение безопасности выполнения космических миссий, в частности, связанных с воздействием космического мусора, наблюдением за космическим мусором, определением его орбит, созданием и поддержанием каталогов космических объектов, накоплением данных с различных источников, со стандартами обмена данных и анализом пересечения орбит.

- развитие энтропийных подходов к моделированию движения облака КМ отражает еще один из возможных аспектов задачи моделирования хаотических процессов относительного движения ФКМ;

- исследование политических, юридических, организационных и экономических аспектов предотвращения образования космического мусора и его удаления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техногенное засорение околоземного космического пространства. Под ред. докт. техн. наук, проф. А. П. Алпатова. Днепропетровск: Пороги, 2012. 378 с.
2. Космический мусор. В 2 кн. Кн. 1. Методы наблюдения и модели космического мусора. Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 245 с.
3. Космический мусор. В 2 кн. Кн. 2. Предупреждение образования космического мусора. Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 188 с.
4. Technical report on space debris. United Nations. New York, 1999. 50p.
5. Алпатов А. П., Закржевский А. Е. Пассивное развращивание связки двух тел на орбите. Прикладная механика, 1999. Т. 35. № 10. С. 87–92.
6. Alpatov A.P. Shape control of large reflecting structures in space / A.P.Alpatov, V.P.Gusynin, P.P.Belonozhko, S.V.Khoroshilov, A.A.Fokov // 62nd

International Astronautical Congress, Cape Town, SA. Copyright ©2011 by the International Astronautical Federation. All rights reserved. IAC-11.C2.3.6

7. Bombardelli C., Herrera J., Iturri A., Pelaez J. Space debris removal with bare electrodynamic tethers. Proceedings of the 20th AAS: AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, San Diego, CA, 2010.

8. Bombardelli C., Pelaez J. Ion beam shepherd for contactless space debris removal. Journal of guidance, control and dynamics, 2011. V. 34. № 3. P. 916–920.

9. Estes R. D., Lorenzini E. C., Sanmartin J., Pelaez J., Martinez-Sanchez M., Johnson C. L., Vas I. E. Bare Tethers for Electrodynamic Spacecraft Propulsion. Journal of Spacecraft and Rockets, 2000. V. 37. P. 205–211.

10. Бомбарделли К., Алпатов А. П., Пироженко А. В., Баранов Е. Ю., Осиновский Г. Г., Закржевский А. Е. Проект "космического пастуха" с ионным пучком. Идеи и задачи. Космічна наука і технологія, 2014. Т. 20. № 2. С. 55–6.

11. Alpatov A. P., Fokov A. A., Khoroshylov S. V. Определение оптимального положения "пастуха с ионным лучом" относительно объекта космического мусора. Ukrainian Conference on Space Research. Abstracts (Odessa, Ukraine, August 25-28 2015). Одесса, 2015. С. 126.

12. Alpatov A., Cichocki F., Fokov A., Khoroshylov S., Merino M. Algorithm for Determination of Force Transmitted by Plume of Ion Thruster to Orbital Object Using Photo Camera. Proceeding of the 66th International Astronautical Congress (Jerusalem, Israel, 2015. IAC-15-A6.5.5-27732). Jerusalem, 2015.

13. Alpatov A., Cichocki F., Fokov A., Khoroshylov S., Merino M. Determination of the force transmitted by an ion thruster plasma plume to an orbital object. Acta Astronautica. 2016. №119. С. 241–251.

14. Алпатов А.П., Палий А.С., Скорик А.Д. Аэродинамические системы увода космических объектов. Техническая механика, 2015. № 4. С. 126–138.

15. Поляхова Е. Н. Космический полёт солнечным парусом: проблемы и перспективы. М.: Наука. 1986. 304 с.

16. Алпатов А. П., Белоножко П. П., Тарасов С. В., Фоков А. А., Храмов Д. А. Перспективы космической робототехники. Информационные технологии в металлургии и машиностроении; материалы (ИТММ-2014): Материалы научно-технической конференции (Днепропетровск, 25–27 марта 2014). Днепропетровск, 2014. С. 5–6.

17. Sanjurjo Rivo M. Self Balanced Bare Electrodynamic Tethers. Space Debris Mitigation and other Applications : tesis doctoral N 1839 / Manuel Sanjurjo Rivo. — Madrid, 2009. — 215 с.

18. Alpatov A.P., Beletsky V.V., Dranovskii V. I., Khoroshilov V. S., Pirozhenko A.V., Troger H., Zakrzhevskii A. E. Dynamics of Tethered Space Systems. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2010. 223 p.

19. Levin E.M. Dynamic analysis of space tether missions. San Diego: American Astronautical Society, 2007. 453 p.

20. Fujii H. A. & others Sounding rocket experiment of bare electrodynamic tether system. Journal of Acta Astronautica, 2009, V. 64, № 2–3. P. 313–324.

21. Алпатов А. П., Горбулин В. П. Космические платформы для орбитальных промышленных комплексов: проблемы и перспективы. Вісн. НАН України, 2013, № 12. С. 26–38.

22. Алпатов А. П., Гольдштейн Ю. М. Баллистический анализ распределения орбит космических аппаратов различного функционального назначения. Техническая механика, 2017. №2. С. 33–41

А.А. Брилев, Е.Ю. Островская

МЕТОДЫ ВАЛИДАЦИИ ТРАНЗАКЦИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ БЛОКЧЕЙН

Аннотация. Описаны основные черты технологии блокчейн, принципы ее программной разработки. Проанализированы некоторые аспекты программного создания блокчейна, рассмотрены возможные способы реализации проверки транзакций, описан метод, примененный в биткойне.

Ключевые слова: Блокчейн, биткойн, криптовалюта, транзакция, децентрализованные программы, софт, программирование, код, хэш, C#, разработка, технология, сеть, майнинг, валидация, unspent input, схема, explained, bitcoin, transaction, wallet.

Слово блокчейн в последние месяцы вызвало ажиотаж среди программистов, инвесторов, а затем и среди широкой публики, следящей за новостями в мире электронных новаций. И хотя львиная доля этого интереса спровоцирована спекулятивным ростом цены биткойна, существует консенсус как среди финансистов так и среди экспертов-программистов и инженеров, что блокчейн является прорывной технологией, которая получит свое применение в многих сферах жизни общества и человека.

Суть технологии блокчейн. В общем виде, блокчейн – структура данных - список или связанный список блоков (List или Linked List в терминологии языка C#), построенная с соблюдением ряда правил. Блок блокчейна – это объект, который хранит данные, а также ряд других параметров. Данные, которые хранятся в блоке - называют транзакциями.

В наиболее общем виде блок включает в себя транзакции (одну, две, множество, и по разному реализуется для разных задач), отметку времени создания (timestamp), и предыдущий блок. Очевидно, что при попытке реализации такой концепции, каждый следующий блок будет в двое больше предыдущего и по мере роста блокчейна он очень быстро выйдет за разумные пределы, которые позволяют обмен

информацией в сети. Поэтому, одной из характерных составляющих технологии является хэширование информации.

Любые данные (числа, объекты, символы, строки) могут быть приведены к единому формату, как правило в программировании это приведение к строке. Любая строка произвольной длины может быть преобразована в набор символов фиксированной длины (битовую строку) алгоритмами хэширования. Если к входной строке, независимо от ее длины, будет применен один и тот же алгоритм хэширования, то результатом функции будет выходная строка всегда одинаковой длины. Но, изменение хотя бы одного символа входной строки, будет иметь результатом иную выходную строку. Благодаря этому, в следующий блок можно включать не весь предыдущий блок целиком, а лишь его хэш. Попытка изменения данных предыдущего блока, приводит к изменению хэша, и, таким образом, вынуждает изменять данные всех последующих блоков. На рисунке 1 представлена структура блока и построение блокчейна.



Рисунок 1 - Структура блока и построение блокчейна

Программный код приведенный ниже описывает метод создания блока:

```
public Block(int i, Transaction transactionData, string prev = "")
{
    index = i;
    Data = transactionData;
    timestamp = DateTime.Now;
    PreviousHash = prev;
    Hash = CalculateHash();
}
```

где ключевой метод – *CalculateHash()* – может быть реализован следующим образом:

```
public string CalculateHash()
{
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    string toEncrypt = index.ToString() + PreviousHash + timestamp.ToString() +
    Data.ToString() + nonce;
    using (SHA256 hash = SHA256Managed.Create())
```

```
{  
    Encoding enc = Encoding.UTF8;  
    Byte[] result = hash.ComputeHash(enc.GetBytes(toEncrypt));  
    foreach(Byte b in result)  
    {  
        sb.Append(b.ToString("x2"));  
    }  
}  
return sb.ToString();  
}
```

Вторым ключевым принципом, на котором строятся большинство проектов по технологии блокчейн, является децентрализация хранения данных. Копии данных хранятся на большом количестве узлов. Изменение данных на одном из них не приводят к изменению данных на остальных. Как только будет найдено несоответствие, узел, данные которого были изменены, восстановит исходные данные путем синхронизации с остальными узлами. Вероятность взлома и одновременного и согласованного искажения данных на множестве (всех) узлах, значительно менее вероятна, и тем меньше, чем больше сеть участников.

Принято выделять три основных типа участников: узлы, майнеры, пользователи.

Узлы хранят данные и постоянно транслируют их по сети. Пользователи – это участники, которые создают транзакции. Майнеры – создают блоки. За этим типом закрепилось такое название прежде всего из-за того, что блокчейн стал уже синонимом криптовалют, а в большинстве криптовалют как раз реализован принцип proof-of-work, задачей которого является недопущение неконтролируемой эмиссии блоков. Для создания блока необходимо произвести вычислительные операции высокой сложности, требующие изрядных ресурсов. В общем случае, майнеры – не более чем узлы, которые обслуживают блокчейн.

Пользователи делают транзакции (необязательно денежные) - это могут быть договора, голосование, просто создание каких-то файлов, и многое другое. Узлы получают транзакции и транслируют их. Майнуры берут транзакции и создают блоки, в которые включены эти транзакции, и, передают блоки ближайшим узлам. Узел, получив новый блок, проверяет его корректность, присоединяет к блокчейну и транслирует обновленный блокчейн соседним узлам. На рисунке 2 представлена общая схема взаимодействия участников сети.

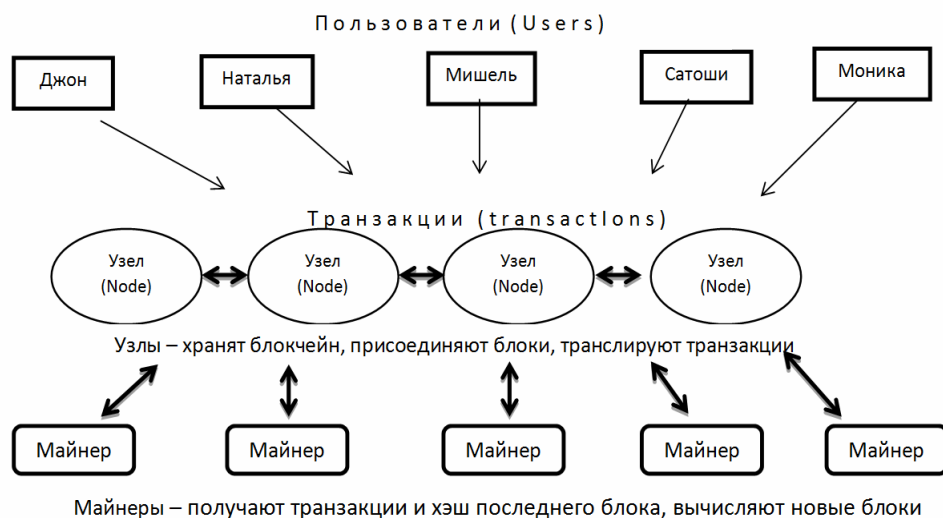


Рисунок 2 - Общая схема взаимодействия участников сети

Одной из первых проблем, которую требуется решить разработчику блокчейн проекта, является стратегия и алгоритм валидации - проверки корректности - транзакций.

Транзакция в упрощенном виде имеет пять полей (свойств): адрес отправителя, адрес получателя, сумму и отметку времени. Для удобства валидации, может быть также введено поле TransactionHash, которое будет содержать хэш предыдущих полей.

```
public class Transaction
{
    public string Sender { get; set; }
    public string Recipient { get; set; }
    public decimal Amount { get; set; }
    public DateTime Timestamp { get; set; }
    public string TransactionHash { get; set; }
}
```

Валидация транзакции, должна включать проверку трех основных параметров: существование получателя, достаточность средств у отправителя и отсутствие данной транзакции среди уже существующих.

Для организации проверки транзакций, требуется решить где и как будут храниться данные пользователей (счета пользователей, которые также обычно представляют собой битовую строку фиксированной длины), и, данные совершенных транзакций. В процессе разработки мною были апробированы следующие варианты.

1. Часть узлов выполняют функцию «бухгалтера»: содержат список зарегистрированных счетов и, отдельно, список всех совер-

шенных и подтвержденных транзакций. Эти узлы также постоянно синхронизируются между собой.

2. Зарегистрированные счета включаются в блокчейн. Каждый блок несет в себе в части данных адреса счетов.

Преимущества первого способа состоят в том, что сам блокчейн разгружается, каждый блок будет меньше по размеру, и, собственно проверка корректности транзакции будет проще, программный код – короче. Недостатки – в том, что появляются дополнительные объекты, которые нужно синхронизировать, продумывать устойчивость от атак, потенциально уменьшается степень децентрализации.

Второй способ более изысканный, однако, потребует более сложных методов проверки, и, приведет к некоторому увеличению размера блока.

Итак, корректность проверки транзакции начинается с проверки существования получателя. Если данные зарегистрированных счетов хранятся в отдельном списке, то этот список просто перебирается до тех пор, пока не будет найден соответствующий счет. Если данные хранятся только в блокчейне, то узел перебирает весь блокчейн пока не найдет совпадение.

```
bool IsValidAddresses(Transaction someTransaction, List<Account> ListOfAllAccounts)
{
    if (someTransaction.Sender == someTransaction.Recipient) return false;
    bool isValidSender = false;
    bool isValidRecipient = false;
    foreach (Account account in ListOfAllAccounts)
    {
        if (someTransaction.Sender == account.Address) isValidSender = true;
        if (someTransaction.Recipient == account.Address) isValidRecipient = true;
    }
    return (isValidRecipient && isValidSender);
}
```

Интереснее реализуется задача проверки достаточности средств. Когда вы пользуетесь традиционными банковскими услугами, вы всегда видите остаток на счету. Соответственно, для реализации мошеннической транзакции (отправки средств, превышающих остаток), достаточно иметь возможность изменить одну цифру. Такая угроза противоречит всей сущности блокчейна. Для более надежного отслеживания остатка средств можно получить суммы всех входящих и всех исходящих транзакций, получателем и отправителем, соответственно, каждой будет данный пользователь. Положительная разница между первой, второй суммами и суммой совершаемой сейчас тран-

закции и будет критерием корректности транзакции. Такой способ потребует перебора всего массива прошлых транзакций, будь то в блоках, либо в отдельно хранящемся списке транзакций.

```
public bool IsValidTransaction(Transaction someTransaction, Hashtable transactions,
List<Account> ListOfAllAccounts)
{
    if (!IsValidAddresses(someTransaction, ListOfAllAccounts)) return false;
    decimal amountRecieved = 0;
    foreach(Transaction instance in TransactionsAsRecipient(someTransaction, transac-
tions))
    {
        amountRecieved += instance.Amount;
    }
    decimal amountSent = 0;
    foreach (Transaction instance in TransactionsAsSender(someTransaction, transactions))
    {
        amountSent += instance.Amount;
    }
    return ((amountRecieved - amountSent - someTransaction.Amount) >= 0);
}
```

Интересный и изысканный метод проверки доступных средств реализован в коде биткойна. Каждая транзакция имеет две составляющие: input и output. Output хранит данные, касающиеся отправки средств, то есть адреса получателей и суммы. Input ссылается на одну или более транзакций, в которой данный пользователь был получателем средств. Сумма средств в output должна быть равна сумме средств в input. Если output меньше, чем input, то разница отправляется пользователем самому себе.

Любая транзакция, в которой пользователь был получателем средств, становится так называемым unspent input (непотраченный приход) для данного получателя. Ссылки на все unspent inputs хранит его электронный кошелек (wallet). Когда пользователь формирует отправку средств, исходя из суммы, которую нужно отправить, подбирается ближайший по сумме (но превышающий ее) unspent input. Если единичного input не хватает (не существует unspent input с суммой, достаточной для формирования перевода), то подбираются несколько unspent inputs. Все они будут указаны в input формируемой транзакции. В output будет информация о том, кому переводятся средства и сумма. После совершения такой транзакции, все unspent inputs, которые в нее были включены, станут потраченным (spent inputs) и более не смогут быть включены в input следующей транзакции. Одновременно, во-первых, для получателя

средств появится unspent input в сумме данного перевода, и для отправителя появится unspent input в размере сдачи.

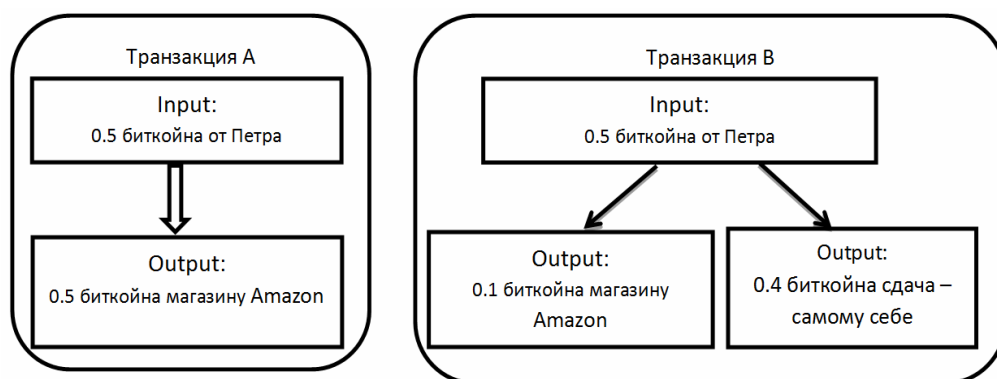


Рисунок 3 - Простейшая транзакция и транзакция со сдачей (change)

Таким образом, реализована, самодостаточная транзакция, транзакция, которая в самой себе хранит информацию о достаточности средств у отправителя. Более того, это позволяет проследивать историю всей жизни каждой криптовалюты данной платежной системы: когда она появилась, в каких транзакциях участвовала. Этот же алгоритм решает проблему двойного расходования средств.

Однако для такого построения транзакции понадобилось ввести понятие «Wallet» – программа, которая хранит ссылки на все unspent inputs данного пользователя, и, которая позволяет формировать транзакцию при условии подтверждения прав собственности особым криптоключем, известным пользователю. Тем не менее, большинство крупных проектов криптовалют реализуют эту часть проекта именно этим путем. Но эти кошельки на данный момент не в полной мере удобны для пользователя, требовательны к системным ресурсам и нет полной уверенности в степени их безопасности. Поэтому, это перспективная сфера приложения сил нынешнему поколению разработчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tapscott Don, Tapscott Alex. Blockchain revolution. New York, 2016
2. Antonopoulos Andreas M. Mastering Bitcoin. Programming the open blockchain. New York, 2017
3. Vigna Paul, Casey Michael J. The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain Are Challenging the Global Economic Order. New York, 2016
4. Wattenhover Roger. The Science of the Blockchain. New York, 2016
5. Pease Marshall, Shostak Robert. The Byzantine Generals Problem. ACM Transactions on Programming Languages and Systems. 1982
6. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Bitcoin whitepaper at <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
7. Dorier Nicolas. Blockchain Programming in C#. [https:// programmingblockchain.gitbooks.io/](https://programmingblockchain.gitbooks.io/)

В.А. Булах, Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова
**КЛАССИФИКАЦИЯ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ
СТОХАСТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТА-АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ
ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ**

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ классификации фрактальных временных рядов с помощью мета-алгоритмов на основе деревьев решений. Для построения модельных фрактальных временных рядов были выбраны биномиальные стохастические каскадные процессы. Анализ показывает, что наилучшие результаты получены методами Случайного леса и Бэггинг, которые используют деревья регрессии.

Ключевые слова: мультифрактальные временные ряды, биномиальный стохастический каскад, классификация временных рядов, Случайный лес, Бэггинг.

Введение и цель

Временные ряды являются основными данными для понимания динамики в реальных сложных системах разного типа. Для множества задач анализа временных рядов, в том числе для классификации, в настоящее время используются методы машинного обучения. Для разработки и тестирования новых методов важными являются математические модели, позволяющие генерировать модельные ряды с заданными свойствами для решения задач дата манинг [1-3].

Многие сложные системы обладают фрактальной структурой и их динамика представлена временными рядами, обладающими фрактальными свойствами. Результаты фрактального анализа временных рядов широко используются в технических, физических, биологических, информационных системах. Во многих случаях возникают задачи распознавания и классификации фрактальных рядов. Чаще всего это происходит путем оценивания и анализа фрактальных характеристик [4-5]. Однако в последние годы для анализа и классификации фрактальных рядов используются методы машинного обучения [6-8]. Целью представленной работы является сравнительный анализ

классификации мультифрактальных стохастических временных рядов, выполняемых методами, основанными на деревьях решений.

Мультифрактальные временные ряды

Самоподобие случайных процессов заключается в сохранении статистических характеристик при изменении масштаба времени. Стохастический процесс $X(t)$ является самоподобным с параметром H , если процесс $a^{-H}X(at)$ описывается теми же конечномерными законами распределений, что и $X(t)$:

$$\text{Law}\{a^{-H}X(at)\} = \text{Law}\{X(t)\}, \quad \forall a > 0, t > 0. \quad (1)$$

Для мультифрактальных процессов рассматривается более общее соотношение

$$\text{Law}\{X(at)\} = \text{Law}\{M(a) \cdot X(t)\}, \quad (2)$$

где $M(a)$ - независимая от $X(t)$ случайная функция. Мультифрактальные процессы имеют следующие скейлинговые закономерности для моментных характеристик:

$$M\left[|X(t)|^q\right] \propto t^{\tau(q)+1}, \quad (3)$$

где $\tau(q)$ - скейлинговая экспонента, в общем случае нелинейная функция, для которой значение $\tau + 1 / q$ при $q = 2$ совпадает со значением показателя H .

Простыми моделями мультифрактального процесса с заданными свойствами являются биномиальные мультипликативные каскады [9,10]. При их построении первоначальный единичный отрезок делится на два равных интервала, которым приписываются весовые коэффициенты w_1 и $1 - w_1$, где w_1 является значением некоторой заданной случайной величины W . На втором шаге добавляются два новых независимых случайных значения w_2 и w_3 . Получится 4 интервала с весовыми коэффициентами w_1w_2 , $w_1(1 - w_2)$, $(1 - w_1)w_3$ и $(1 - w_1)(1 - w_3)$. При $n \rightarrow \infty$ мы приходим к предельной мере, являющейся неоднородным фрактальным множеством.

Фрактальные характеристики биномиального стохастического мультипликативного каскада при использовании случайной величины бета-распределения задается его параметрами α и β . Для построения

каскада с заданными фрактальными характеристиками необходимо решить уравнение:

$$\tau(q) = -\log_2 M[X^q] - 1 \quad (4)$$

где: $M[X^q] = \frac{B(\alpha + q, \beta)}{B(\alpha, \beta)}$ – начальные моменты случайной величины

X порядка q , при этом $q > -\alpha$.

Данное уравнение неразрешимо в явном виде, поэтому для получения значений параметров α и β для существующей функции $\tau(q)$ необходимо решить условную оптимизационную задачу вида:

$$\alpha, \beta = \arg \min_{\alpha, \beta} \left(\tau(q) + \log_2 \frac{B(\alpha + q, \beta)}{B(\alpha, \beta)} + 1 \right)^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

с ограничениями: $\{\alpha > 0, \beta > 0, q > -\alpha\}$

Решение задачи (2) позволяет получить параметры бета-распределения, что дает возможность генерировать мультиприкативные каскады с параметром Херста в интервале от 0.5 до 1.

Методы исследования

Одним из самых эффективных методов для решения задач классификации, возникающих в самых разных областях, считается метод деревьев решений. Он состоит в том, чтобы осуществлять процесс деления исходных данных на группы, пока не будут получены однородные их подмножества. Совокупность правил, которые дают такое разбиение, позволяет затем делать вывод для новых данных.

Модели деревьев решений, неустойчивы: даже небольшое изменение в обучающем множестве может привести к существенным изменениям в структуре дерева. В этом случае целесообразно использовать ансамбли моделей. Одним из первых и самых известных видов ансамблей является метод Бэггинг (Bagging). Бэггинг – технология классификации, где все элементарные классификаторы обучаются и работают независимо друг от друга. Идея заключается в том, что классификаторы не исправляют ошибки друг друга, а компенсируют их при голосовании.

В основе работы бэггинга лежит технология классификации, получившая название «возмущение и комбинирование» [11]. Под возмущением понимается внесение некоторых случайных изменений в обучающие данные и построение нескольких альтернативных моде-

лей на измененных данных с последующим комбинированием результата. Если ансамбль строится на основе моделей различных типов, то для каждого типа будет свой алгоритм обучения.

Для получения результата работы ансамбля моделей обычно используются следующие способы комбинирования: голосование или усреднение, которое может определяться как простое среднее значение выходов всех моделей. Эффективность бэггинга достигается благодаря тому, что базовые алгоритмы, обученные по различным подвыборкам, получают достаточно различными, и их ошибки взаимно компенсируются при голосовании, а также за счёт того, что объекты-выбросы могут не попадать в некоторые обучающие подвыборки.

Случайный лес (Random Forest) также является методом Бэггинга, но в отличие от его основной версии имеет несколько особенностей: использует внутри себя ансамбль только регрессионных или классифицирующих деревьев решений; в алгоритме сэмплирования помимо выбора случайным образом обучающих объектов, также производится выбор случайным образом признаков; для каждой подвыборки дерево решений строится до полного исчерпания обучающих примеров и не подвергается процедуре отсечения ветвей [12].

Результаты исследования

Для построения моделей деревьев решений использовался язык Python с библиотеками, реализующими методы машинного обучения [13]. Классификация проводилась для временных рядов с разными мультифрактальными свойствами, полученных генерацией стохастических биномиальных каскадов.

На рис.1 представлены типичные каскады из разных классов: слева каскад с показателем Херста $H = 0.72$, полученный с помощью симметричного бета-распределения с параметром $\alpha = 0.9$, справа каскад, для которого $H = 0.9$ и, соответственно, $\alpha = 3$.

В данном случае каждый класс представляет собой набор сгенерированных временных рядов с одинаковым показателем Херста. В случае, когда весовые коэффициенты являются значениями симметричного бета-распределения, скейлинговая экспонента $\tau(q)$ однозначно определяется значением показателя Херста H , $0.5 < H < 1$. При генерации каскадов значения показателя Херста изменялись в интервале от 0.5 до 1 включая границы с шагом 0.05. Таким образом, обучение моделей производилось на 11 классах.

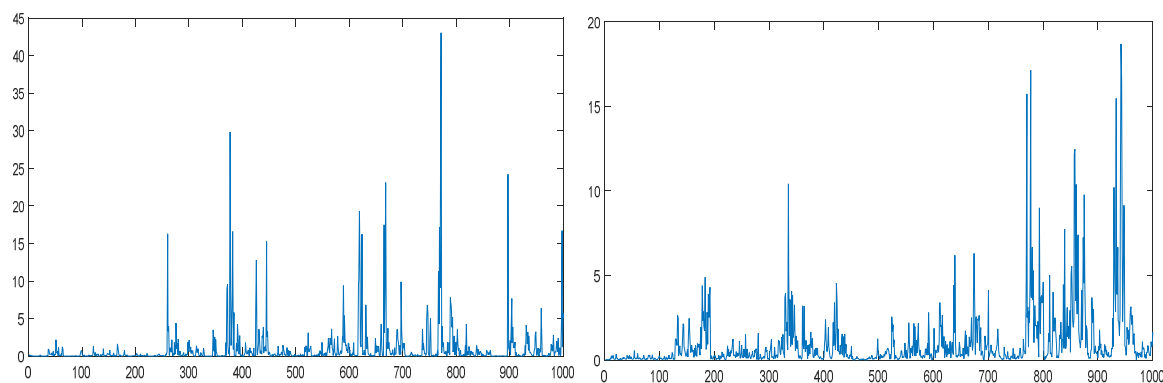


Рисунок 1 - Мультифрактальные каскады:
слева $H = 0.72$, справа $H = 0.9$

В работе для определения принадлежности временного ряда к одному из 11 классов были использованы методы Бэггинг и Случайный лес. В каждом из методов были задействованы ансамбли деревьев решений как классификации, так и регрессии. При использовании регрессионных деревьев решений результатом работы модели является вероятность соответствия мультифрактального каскада заданному классу. Обучение моделей для каждого класса производилось на 5000 примерах временных рядов обучения и проверялось на 500 тестовых.

В таблице представлены средние вероятности определения класса в зависимости от длины мультифрактальных рядов и метода машинного обучения. Результаты показывают, что использование регрессионных деревьев дает существенно большую точность по сравнению с деревьями классификации. Метод Случайный лес показал лучшие результаты, чем метод Бэггинг. Стоит отметить, что Случайный лес проявляет большую стабильность к длине каскадов, что позволяет его применять для коротких временных рядов.

Таблица 1

Средняя вероятность предсказания класса

Длина каскада	Бэггинг		Случайный лес	
	Деревья классификац.	Деревья регрессии	Деревья классификац.	Деревья регрессии
512	0.65	0.79	0.81	0.85
1024	0.66	0.83	0.83	0.88
2048	0.68	0.83	0.84	0.91
4096	0.71	0.89	0.85	0.92
8192	0.75	0.9	0.86	0.93

Выводы

В работе был проведен сравнительный анализ классификации мультифрактальных стохастических временных рядов с использованием мета-алгоритмов на основе деревьев решений. В качестве входных данных использовались биномиальные мультипликативные стохастические каскады. Предложен алгоритм генерации каскадов с заданными мультифрактальными свойствами на основе бета-распределения.

Для классификации рядов использовались методы Бэггинг и Случайный лес. В каждом методе были задействованы ансамбли деревьев решений, как классификации, так и регрессии. Наилучшие результаты были получены с использованием деревьев регрессии. Полученные результаты могут быть использованы для практических применений, связанных с кластеризацией или кластеризацией реальных временных рядов с фрактальными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Esling P., Agon C.: Time series data mining, ACM Computing Surveys, vol.46, no.1, (2012).
2. Ben D: Feature-based time-series analysis, <https://arxiv.org/abs/1709.08055>, last accessed 2018/03/03.
3. Bagnall A., Bostrom A., Large J., Lines J.: Simulated Data Experiments for Time Series Classification Part 1: Accuracy Comparison with Default Settings. <https://arxiv.org/abs/1703.09480v1>, last accessed 2018/03/03.
4. Korus L., Piyrek M.: Compound method of time series classification. Nonlinear Analysis: Modelling and Control, 20(4), 545–560 (2015).
5. Alghawli A., Kirichenko L.: Multifractal Properties of Bioelectric Signals under Various Physiological States. Information Content & Processing International Journal 2(2), 138-163 (2015).
6. Andriy L., Coelho V., Clodoaldo A., Lima M.: Assessing fractal dimension methods as feature extractors for EMG signal classification. Engineering Applications of Artificial Intelligence 36 81–98 (2014).
7. Symeonidis S.: Sentiment analysis via fractal dimension. Proceedings of the 6th Symposium on Future Directions in Information Access, 48-50 (2015).
8. S.P. Arjunan, D.K. Kumar, G.R. Naik A machine learning based method for classification of fractal features of forearm sEMG using Twin Support Vector Machines. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4821-4 (2010).
9. R.H.Riedi. Multifractal processes, in Doukhan P., Oppenheim G., Taqqu M.S. (Eds.), Long Range Dependence: Theory and Applications: Birkhuser. -2002. -P. 625–715.
10. L. Kirichenko, T. Radivilova, E. Kayali: Modeling telecommunications traffic using the stochastic multifractal cascade process. Problems of Computer Intellectualization, 55–63 (2012).
11. Breiman L. Bagging predictors. Machine Learning. (1996), 24 (2), P.123–140.
12. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. (2001), 45 (1), P.5–32.
13. Davy Cielen, Arno Meysman, Mohamed Ali: Introducing Data Science: Big Data, Machine Learning, and more, using Python tools, Manning Publications (2016).

О.С. Волковський, Є.Р. Ковилін

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНСТРУКЦИЙ**

Аннотация. На основе анализа существующих подходов к созданию систем автоматической обработки текстов, произведен выбор модели представления текстовой производственной инструкции в формате доступном для программной реализации. Разработана структура прикладной системы выявления участков с низкой смысловой связностью. Проработаны алгоритмические решения для каждого из этапов обработки текстовой инструкции. Осуществлено тестирование системы на основе государственных инструкций по технике безопасности на производстве.

Введение. Процесс составления промышленных инструкций сегодня является довольно актуальной проблемой по нескольким причинам. Во-первых, несмотря на обширное количество ГОСТов и правил, зачастую игнорируется семантическая ценность и четкость составляемых текстов. В случае инструкций по технике безопасности или инструкций касающихся обращения с опасным тяжелым промышленным оборудованием этот фактор может привести к трагичным последствиям. Во-вторых, составление и последующая проверка инструкций производится людьми, из-за чего существует вероятность возникновения ошибок вследствие человеческого фактора. Наконец, текущие стандарты составления инструкций описывают далеко не все аспекты промышленной деятельности и эксплуатации производственного оборудования. Учитывая тенденцию к компьютеризации практически всех направлений человеческой деятельности, автоматизация процесса составления производственных инструкций является наиболее оптимальным решением описанных проблем. С этой целью была разработана программная пользовательская система, снабженная интеллектуальным компонентом автоматической обработки текстов, речь о которой и пойдет в этой статье.

Анализ последних исследований. В научной отрасли современной отечественной АОТ не существует прикладных аналогов разрабатываемой системы. Однако возможно выделить несколько аналогичных классов систем обработки текста, отличающихся между собой и сложностью обработки данных, и сложностью интеллектуального компонента. Условно, данные системы можно разделить по моделям языка, заложенным в их основу, на три типа: генеративные грамматики Хомского, семантическая сеть и инструменты нейронных сетей. Поскольку необходимость в прикладной реализации, в данном случае, стоит выше теоретической составляющей, рассмотрим наиболее современные конкретные программные системы каждого из указанных классов. Для начала, рассмотрим программу генерации тестовых заданий для дистанционного обучения студентов, основывающуюся на парадигмах формальных грамматик Хомского [2]. Генеративная грамматика составляющих отталкивается от аксиомы существования явления языковой компетенции, заключающейся в способности человека к усвоению и пониманию естественной человеческой речи, независимо от языка. Следуя этому, генеративная грамматика ставит перед собой цель смоделировать эту способность в рамках порождения правильных предложений, используя определенный конечный набор правил, алфавит и начальный символ предложения, из которого, с помощью специальных грамматических правил, можно разворачивать схемы построения предложения – непосредственные составляющие. Теоретически, множество непосредственных составляющих ничем не ограничено и является бесконечным, на практике – сам язык, предметная область, рабочий текстовый корпус и возможности ЭВМ существенно уменьшают размер множества непосредственных составляющих.

Широкое распространение в области АОТ получила технология семантических сетей, являющаяся следующим витком развития области обработки текстов. Семантическая сеть представляет собой граф, где в вершинах стоят семантические единицы, а дуги описывают смысловые связи между ними. Под семантическими единицами, зачастую, может пониматься и отдельное слово, и предложение, и даже целый документ. Практическое применение семантической сети к задаче АОТ хорошо проиллюстрировано в работе [5] - системе автоматического консультирования. Разработчики ставят перед собой за-

дачу генерации базы знаний отдельной предметной области для обеспечения диалога с пользователем по соответствующим ей вопросам. Семантическую сеть предлагается использовать для хранения извлекаемых знаний на основе текстового корпуса, представляющего собой наборы заранее заготовленных шаблонных фраз – ответов.

Передовым инструментом, применимым к задаче автоматической генерации текстов, являются прикладные методы искусственного интеллекта – реализация процесса АОТ при помощи нейронных сетей. Из работы [6], где рекуррентная сеть используется для автоматического создания описаний о товарах некоторого интернет магазина, видно, что результаты получаются довольно неоднозначные. Главным плюсом подхода является полная автоматизация процесса генерации текста, высокая степень адаптивности системы и низкие затраты на ее настройку и внедрение. Однако, очевидны некоторые проблемы появления «смыслового мусора». Причина этого заключается в том, что несмотря на кажущееся наличие интеллектуальной обработки, система не хранит знаний о семантике того что описывает и генерирует, отталкиваясь лишь от заранее заданных шаблонов – учителей.

Постановка проблемы. Сама по себе, тема автоматической обработки текста (АОТ), затрагивает большое количество научных вопросов, связанных в первую очередь с проблемами поиска алгоритмических решений для таких продуктов. Разработка прикладных программных систем подразумевает выбор того или иного механизма описания и реализации модели данных, доступной для обработки ЭВМ. Однако естественный язык (ЕЯ) является неформализованной системой, обладающей непостоянностью и неоднородностью собственных правил, из-за чего усложняется математическое и алгоритмическое описание его компонент. Главной же проблемой является описание семантических характеристик текста на уровне алгоритмического представления - поскольку ЕЯ это не просто набор слов, основанный на грамматических составляющих это, в свою очередь, приводит многих разработчиков к необходимости учета семантических связей между отдельными словами, предложениями и даже документами. Поставленная же задача автоматизации проверки производственных инструкций требует не только описания семантических связей в тексте, но и наличия механизма получения и оценки семантического веса,

поэтому важной задачей является обоснованный выбор алгоритмической модели естественного языка. Выбранная модель должна иметь не только теоретическую ценность, но и обладать механизмами создания прикладной программной реализации на базе современных возможностей ЭВМ.

Рассмотрев основные подходы к прикладной реализации АОТ, становится возможным осуществить выбор модели языка, позволяющей описать промышленную инструкцию в доступной для алгоритмического представления форме. Говоря о генеративных грамматиках Хомского можно отметить, что рассмотренная система дистанционного обучения в частности, и модель языка Хомского в целом, не решает проблем программного представления семантики, поскольку главной целью грамматики Хомского является вывод грамматически правильных предложений из некоторого алфавита, используя цепочки глубинного уровня. И если теоретически мы можем выводить бесконечно большое количество таких цепочек, что, собственно и позволяет описать абсолютно любой ЕЯ, то на практике это не представляется возможным – даже если отбросить такое свойство языка как изменчивость, количество цепочек будет хоть и не бесконечно, но, безусловно, огромно. И чем более выражена флексия в языке – тем сложнее будет его описать. Помимо всего вышесказанного, применение генеративных грамматик, изначально рассматривалось для парсинга языка программирования, где глубинные структуры представлены цепочками формального языка, и грамматическая правильность важнее смысловой семантики (контроль за этим полностью лежит на плечах программиста), что противоречит нашей изначальной задаче [7].

Использование нейронных сетей может показаться заманчивой идеей, однако, для любого типа нейронной сети необходим набор нормализованных числовых данных, описывающих как обучающую выборку, так и анализируемый текст инструкции, поэтому такой мощный инструмент ИИ следует рассматривать уже как постобработку математической модели естественного языка.

В нашем случае, наиболее важной характеристикой текста промышленной инструкции является именно смысловые связи между ее элементами, поэтому семантические сети это наиболее подходящий выбор для описания модели ЕЯ, на основе которой и производится

оценка и семантический разбор текста промышленной инструкции. Это в свою очередь поднимает вопрос построения обходных путей необходимости составления эталонной базы знаний, на основе которой будет происходить формирование семантической сети. Подход, использованный в работе [5] формирует замкнутую систему, результаты работы которой не выходят за пределы добавленной в нее базы знаний, тогда как в нашей задаче важнейшими параметрами являются адаптивность и универсальность прикладного применения разработки.

Цель работы. В процессе работы перед нами стоит несколько задач. В первую очередь, необходима разработка адаптивного алгоритма построения семантической сети, требующего минимальный и конечный набор знаний для своей корректной работы. Следующим шагом является разработка методики снятия семантических характеристик сети для последующей классификации и оценки. Последним этапом является реализация подхода к получению семантически слабой единицы исходного текста промышленной инструкции.

Изложение основного материала. Создавая любую систему АОТ, первым этапом становится синтаксический анализ исходного текста. В случае семантической обработки инструкции, важным аспектом является так же и получение частей речи для каждого из слов. Это позволит системе работать только со семантически значимыми элементами текста, исключая служебные части речи из анализа. Для этого, в систему был включен размеченный эталонный текстовый корпус, в котором каждое слово соотносится с определенной частью речи. Для каждой такой пары выделяются маркеры-окончания – две и три последние буквы слова, а также окончание, полученное при помощи алгоритма Портера. Эти данные являются обучающей выборкой для наивного байесовского классификатора, где классами являются части речи. На вход обученной модели передается массив слов из текста исходной инструкции, и если для анализируемого слова часть речи была определена как неинформативная – слово исключается из последующего анализа. Проведенные эксперименты показывают, что точность определения частей речи составляет порядка 89%.

Рабочее множество возможно дополнительно сократить, если провести операцию выделения стемм в тексте. Для этого над каждой

парой значимых слов из текста инструкции проводится отсечение окончаний по алгоритму Портера, после чего рассчитывается величина расстояния Левенштейна. Если длина общей части слов больше, чем расстояние Левенштейна для анализируемой пары слов, то оба слова заменяются на их наибольшую общую часть.

На основе проведенного анализа составляется матрица, столбцы которой соответствуют стеммам, строки – предложениям, а значениями являются количество вхождений отдельной стеммы в каждое предложение. Над составленной таким образом матрицей выполняется операция сингулярного разложения. На основе свойства устойчивости мы можем игнорировать значения левой и правой матриц, соответствующие низким сингулярным величинам. В результате этой операции, для каждого предложения и стеммы остается два нормализованных значения, характеризующих их частотную составляющую. Отображение полученных данных на плоскость изображено на рис.1, где для анализа был выбран текст из главы 6.2. «Внутренне освещение» правил устройства электроустановок Украины от 2014 года (ПУЭУ-2014) [9].

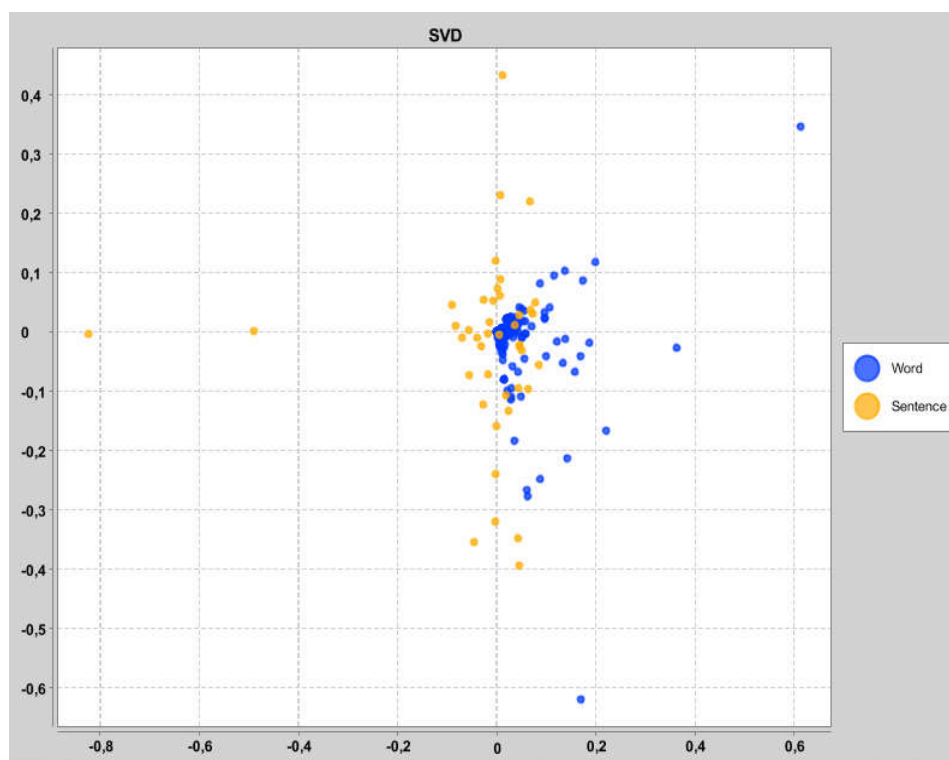


Рисунок 1 – Проекция частотной составляющей инструкции ПУЭУ-2009

После получения частотной числовой картины текста инструкции, необходимо привести полученные данные к некоторой семантической картине, на основе которой возможна генерация семантической сети. Для этого, над полученными данными проводится операция кластеризации по алгоритму k-means, где количество точек-кластеров определяется по формуле (1), в которой $count(W)$ – общее количество слов, (WU) – общее количество уникальных стемм.

$$cl(W, W_U) = \frac{count(W)}{count(W_U)} \quad (1)$$

Значения центроидов кластеров-стемм рассчитываются по формуле (2), где $W_0...W_{CL}$ – частотные веса стемм.

$$Cst(W_U) = \max(W_0...W_{cl}) \quad (2)$$

Значения центроидов предложений рассчитываются по формуле (3), где WS – анализируемое предложение, W_i – вес стеммы в предложении, SN – количество стемм в предложении.

$$Cs(W_S) = \max \left(\sum_{i=0}^{SN} W_i \right) \quad (3)$$

Для каждого кластера – стеммы определяется его вес – количество содержащихся в нем точек, на основе которого формируется каркас будущей семантической сети: кластеры-стеммы связываются между собой в порядке увеличения их веса.

Над значениями каждого кластера-стеммы и кластера-предложения выполняется построение контура выпуклой фигуры по алгоритму Джарвиса. Если контур фигуры-предложения пересекается с контуром фигуры-стеммы, то между ними устанавливается связь, семантический вес которой равен количеству точек, содержащихся в площади пересечения. В результате мы получаем структуру семантической сети, изображенную на рис. 2.

Основываясь на полученных данных, становится возможным получения массива семантически слабых предложений. Для этого достаточно провести анализ кластеров-предложений, не имеющих связи с кластером-стеммой. Если такая семантическая единица была найдена, мы выбираем из нее предложения с наименьшим суммарным весом входящих в них стемм, общее количество которых рассчитывается по формуле 4.

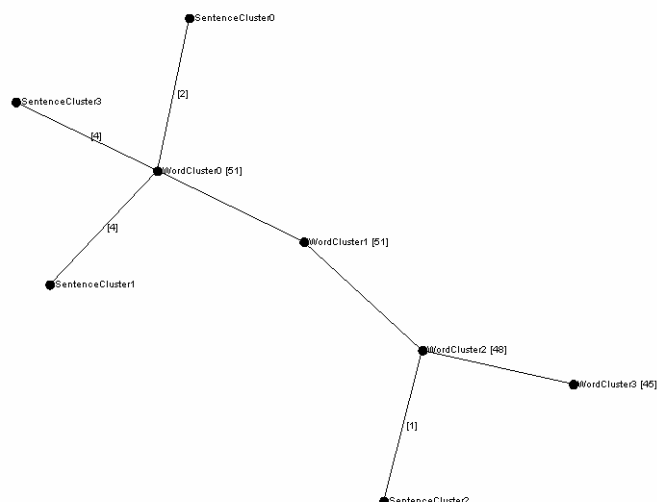


Рисунок 2 – Семантическая сеть инструкции ПУЭУ-2009

$$cl(S_c, S) = \text{round} \left(\frac{\text{count}(S_c)^2}{\text{count}(S)} \right) \quad (4)$$

где $\text{count}(S)$ – общее количество предложений, $\text{count}(S_c)$ – количество предложений в кластере, отношение cl которых описывает такую округленную часть от количества предложений в кластере, которую сам кластер занимает относительно общего количества предложений. Поскольку анализируемая инструкция ПУЭУ-2009 изначально представляет собой семантически связанный текст, для тестирования работы системы добавим в нее предложение из инструкции НПАОП 0.00-1.12-84 Правила взрывобезопасности при использовании мазута и природного газа в котельных установках [10]. Результаты обработки такого текста изображен на рис. 3 и рис. 4.

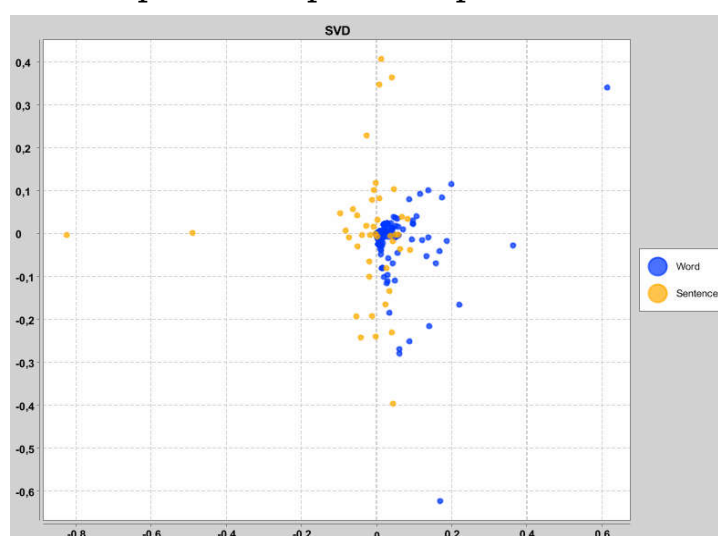


Рисунок 3 – Проекция частотной составляющей инструкции ПУЭУ-2009 и НПАОП

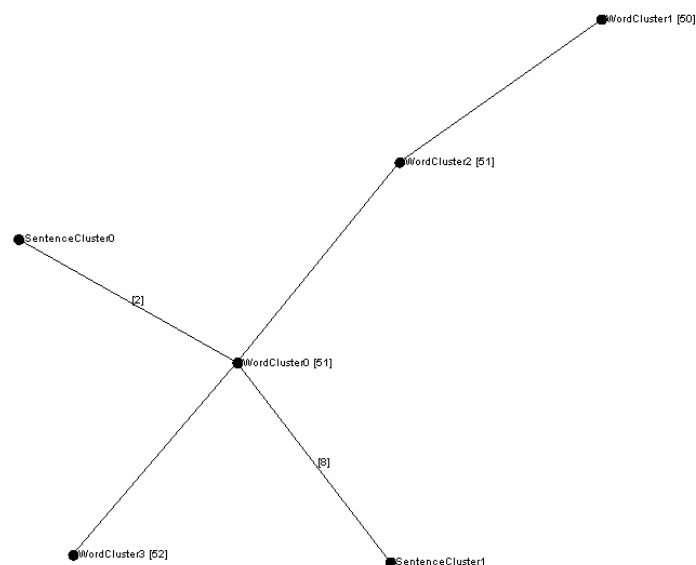


Рисунок 4 – Семантическая сеть для ПУЭУ-2009 и НПАОП

Как можно заметить, после нарушения смысловых связей между частями инструкции значительных изменений претерпела именно семантическая сеть, тогда как частотная проекция практически не изменилась. Полученные от системы семантически слабые предложения содержится в таблице 1.

Таблица 1

Семантически слабые предложения

Добавленные предложения	Исходные предложения
Необходимо содержать в порядке и постоянной готовности первичные средства пожаротушения огнетушители ящики с песком и лопатами пожарные краны и др.	Общие технические условия
	Общие требования
	Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
	В это число включаются также штепсельные розетки

Выводы и перспективы развития направления. Была сформулирована и реализована модель построения семантической сети текстовой промышленной инструкции, не требующая предварительного заполнения эталонной базы знаний и независимая от отрасли своего применения. На основе данных, полученных из семантической сети, разработан подход к определению слабых смысловых элементов и семантических ошибок в тексте инструкции. Реализована прикладная программная система на языке Java, тестирование которой демонст-

рирует возможность ее практического применения на предприятиях с целью анализа составленных инструкций и автоматизации процесса нахождения в них ошибок. Полученные в процессе тестирования результаты показывают, что система не только вернула искомое предложение, но и не добавила в результирующий набор лишних элементов – помимо тестового текста, в наборе содержатся заголовки инструкции, не связанные с конкретными предложениями, а так же предложение, требующее определенного уточнения. Помимо этого, на основе частотных портретов инструкции и семантических сетей, полученных в процессе тестирования, было установлено, что система чувствительна именно к семантическим изменениям, тогда как частотные данные практически не изменяются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельчук И.А. (2012) Язык: от смысла к тексту. [Text] / Мельчук И.А. // 176 с – М. 2012.
2. Кибрик А. А., И. М. Кобозева И. М. Секерина И. А. (2016). Современная американская лингвистика: Фундаментальные направления. [Text] Кибрик А. А., // М. – 2016.
3. Н.Н. Леонтьева. (2012) Автоматическое понимание текстов: системы, модели, ресурсы. [Text] / Н.Н. Леонтьева // Москва – 2012
4. Швецов А.Н. – (2013) Система синтеза учебных тестов на основе формальных грамматик [Текст] / Швецов А.Н // журнал «Программные продукты и системы», №2(102), 2013, с 181-185.
5. Гурин Н. И. (2015) Семантическая сеть электронного учебника для диалога с виртуальным преподавателем [Текст] / Гурин Н. И., Жук Я. А. // Материалы международной научно-технической интернет конференции "Информационные технологии в образовании, науке и производстве" // БГТУ, Минск, 2015 г.
6. Тарасов Д. С. - Генерация естественного языка, парафраз и автоматическое обобщение отзывов пользователей с помощью рекуррентных нейронных сетей [Текст] // Тарасов Д. С. // «Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии», №14(том 1), 2015, с 607-614 // Материалы международной конференции «Диалог», 2015 г.
7. Мозговой М. В. (2012). Машинный семантический анализ русского языка и его применения [Текст] / Мозговой М. В. // СПбГУ, Санкт-Петербург – 116с. – 2012г
8. V. Zakharov (2013) Russian Corpora: Comparison and Usage/ V. Zakharov // St.Petersburg State University Department of Mathematical Linguistics // The 16th International Conference TSD 2013/
9. Правила улаштування електроустановок . Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. // Київ, 2014.
10. Нормативні акти про охорону праці (НПАОП, ДНПАОП) [Електронний ресурс]. - Access mode: <https://dnaop.com/html/31549/>
11. Волковский О.С., Ковылин Е.Р. Анализ современных подходов к задаче автоматической генерации текстов на естественном языке // Системные технологии. Региональный сборник межвузовских научных трудов. - 2016. №5(106) . - С. 3-12.

І.С. Дмитрієва, Ю.М. Мусна

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ

Анотація: Робота присвячена дослідженню існуючих підходів до вирішення задачі розпізнавання графічних образів, їх класифікації та узагальненню, огляду можливостей їх застосування.

Ключові слова: графічні образи, задача розпізнавання.

Розпізнавання образів можна визначити як віднесення вихідних даних до певного класу за допомогою виділення суттєвих ознак або властивостей, що характеризують ці дані, із загальної маси несуттєвих деталей.

Постановка задачі розпізнавання образів [1]: Дано безліч об'єктів. Щодо них необхідно провести класифікацію. Безліч представлено підмножинами, які називаються класами. Задано: інформація про класи, опис усієї множини і опис інформації про об'єкт, належність якого до певного класу невідома. Потрібно за наявною інформацією про класи і описі об'єкта встановити - до якого класу належить цей об'єкт.

Найбільш часто в задачах розпізнавання образів розглядаються монохромні зображення, що дає можливість розглядати зображення як функцію на площині. Вводячи поняття подібності між образами можна поставити задачу розпізнавання. Конкретний вид такої постановки сильно залежить від послідовних етапів при розпізнаванні відповідно до тих чи інших підходів.

Мета роботи: дослідити підходи до вирішення задачі розпізнавання текстових символів, як графічних образів.

Різні автори дають різну типологію методів розпізнавання графічних образів. Одні автори розрізняють параметричні, непараметричні й евристичні методи, інші - виділяють групи методів, виходячи з шкіл, що історично виникли, і напрямків у даній області. Наприклад, у роботі [2], описано два основні способи представлення знань: інтенціональне представлення - у вигляді схеми зв'язків між

атрибути (ознаками) та екстенціональне представлення - за допомогою конкретних фактів (об'єкти, приклади). Інша класифікація базується на реалізації трьох основних типів методології: евристичний, математичний й лінгвістичний (синтаксичний). Доволі часто системи розпізнавання графічних образів створюються на основі комбінації цих методів.

Евристичні методи. За основу евристичного підходу взяті інтуїція й досвід людини. У ньому використовуються принципи перерахування членів класу й спільності властивостей. Звичайно, системи, побудовані такими методами, включають набір специфічних процедур, розроблених виключно до конкретних задач розпізнавання. Хоча евристичний підхід відіграє більшу роль у побудові систем розпізнавання образів, неможна узагальнити принципи синтезу, тому що розв'язок кожної конкретної задачі вимагає використання специфічних прийомів розробки системи. Це означає, що структура і якість евристичної системи в значній мірі визначаються обдарованістю й досвідом розробників.

Структурні (лінгвістичні) методи. Ці методи базуються на використанні спеціальних граматики мов що породжують, за допомогою яких можна описувати сукупність властивостей об'єктів, що розпізнаються. Кожен об'єкт представляється сукупністю непохідних елементів «сполучених» між собою тими або іншими способами або, іншими словами «реченням» деякої «мови». При цьому важливою є інформація, яка описує структуру кожного об'єкта, а від процедури розпізнавання вимагається, щоб вона давала можливість не лише віднести об'єкт до певного класу, але й описати ті властивості об'єкта, які унеможливають віднесення його до іншого класу. Наприклад, зображення на рисунку 1 може бути описано за допомогою ієрархічних структур, показаних на рисунку 2.

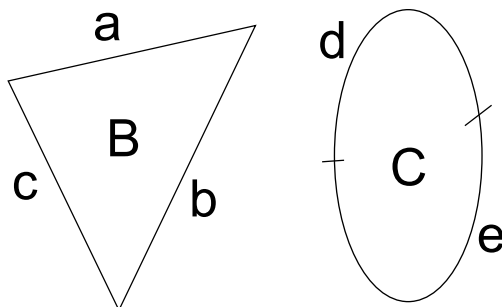


Рисунок 1 - Зображення А

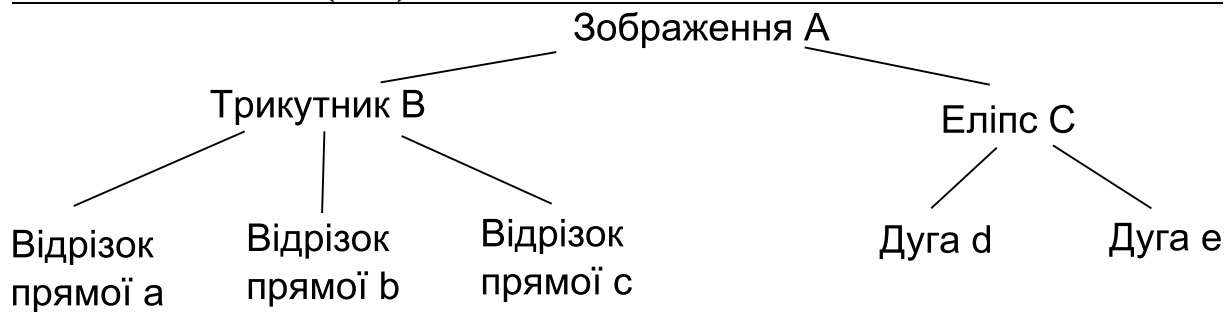


Рисунок 2 - Ієрархічний структурний опис зображення А

Процес розпізнавання здійснюється після ідентифікації в об'єкті непохідних елементів і складанні опису об'єкту. Розпізнавання полягає в синтаксичному аналізі, або граматичному розборі, «речення», що описує даний об'єкт. Ця процедура встановлює, чи є ця речення синтаксично правильним по відношенню до заданої граматики. Синтаксичний аналіз дає деякий структурний опис речення (зазвичай у вигляді дерева).

Для того щоб отримати граматику, що описує структурну інформацію класу образів, необхідний пристрій виводу граматики, що дозволяє відновити її по заданій множині об'єктів у вигляді, подібному мовному. Функції цього пристрою аналогічні процесу «навчання» у дискримінантних системах розпізнавання образів. У результаті навчання на прикладах об'єктів розглянутого класу формується структурний опис цього класу. Потім отриманий у вигляді граматики опис використовується для опису образів і синтаксичного аналізу.

Математичні методи. В основу математичного підходу покладені правила класифікації, які формулюються й виводяться в рамках певного математичного формалізму за допомогою принципів спільності властивостей і кластеризації. Математичні методи побудови систем розпізнавання можна розділити на два класи: детерміністські й статистичні.

Детерміністський підхід базується на математичному апараті, що не використовує в явному вигляді статистичні властивості досліджуваних класів образів. Статистичний підхід ґрунтується на математичних правилах класифікації, які формулюються й виводяться в термінах математичної статистики. Побудова статистичного класифікатора в загальному випадку припускає використання байєсівського класифікаційного правила і його різновидів. Це правило забезпечує одержання оптимального класифікатора в тих випад-

ках, коли відомі щільності розподілу для всіх сукупностей образів і ймовірності появи образів для кожного класу. Істинні ймовірності характеристик класів зазвичай невідому. Тому практично використовуються оцінки, отримані по відомим прикладам класів. Цю, звичайну в статистиці процедуру оцінки по вибірці імовірнісних характеристик генеральної сукупності інтерпретують як навчання. Вирішуючи правила фактично не залежать від специфіки об'єктів, що розпізнаються, оскільки вони мають справу не з самими об'єктами, а з деякими числовими характеристиками. Внаслідок цього ці правила мають відому загальність. Критерієм оптимальності є вимога, щоб загальна ймовірність неправильного розпізнавання була мінімальною.

Серед можливих оптимальних вирішальних функцій найбільше докладно розглянуті її лінійні наближення, тобто лінійні вирішальні функції. Лінійність тут означає, що пари узагальнених образів дихотомічно розділяється в просторі образів однієї й тільки однієї гіперплощиною виду $\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i - \lambda_{n+1} = 0$, де x_i - координати простору образів.

За основу процесу розпізнавання образів прийнятий перерозподіл вихідних ймовірностей $\{p_i\} = p_1, p_2, \dots, p_w$ взаємовиключних, і таких що й представляють повну групу класів $\{S_i\} = S_1, S_2, \dots, S_w$, до яких може бути віднесений розпізнаваний образ, тобто $\sum_{i=1}^w p_i = 1, 0 \leq p_i \leq 1$, і, крім того $\{p(s_x \in S_i)\} = p(s_x \in S_1), p(s_x \in S_2), \dots, p(s_x \in S_w)$, для яких виконується умова нормування $\sum_{i=1}^w p(s_x \in S_i) = 1$.

Приналежність s_x до одного з класів встановлюється при умові, що множина ймовірностей приналежності s_x до класів S_1, S_2, \dots, S_w вдовольняє вимогам, що спричинені необхідною достовірністю відповідей і полягають, наприклад, в тому, що для деякого значення i виконується всі нерівності

$$\frac{p(s_x \in S_i)}{p(s_x \in S_j)} \geq A_{ij}, \quad j = \overline{1, w},$$

де A_{ij} - деяке додатне число.

Інакше кажучи, мається на увазі, що за основу процесу розпізнавання беруть процес пере розподілення вихідних ймовірностей за допомогою аналізу сукупності отриманих реалізацій випадкового процесу, що представляє собою образ, що розпізнається, і отримання за рахунок цього необхідної інформації.

Необхідно зазначити, що всі опубліковані статистичні моделі розпізнавання образів, що використовують фактично різні статистики, дають дуже гарні результати розпізнавання в різних задачах - медичної діагностики, розпізнаванні рукописних символів, класифікації даних сейсмозвідки і т.д.

Формалізм побудови узагальнених графічних моделей поєднує в собі багато методів статистичного моделювання, таких як факторний аналіз, аналіз розподілів, моделі сумішей розподілів, приховані марковські моделі, фільтри Калмана, моделі Айзинга та деякі інших. Всі зазначені моделі можна розглянути в рамках графічних моделей байєсівського типу як окремі приклади загального формалізму. Перевагою такого підходу є те, що методи дослідження процесів та обробки даних, розроблені в одній області, можуть бути успішно перенесені в інші.

Одним з найбільш популярних типів графічних моделей є мережа Байєса [3]. Головна її особливість в тому, що ребра в мережі є направленими та відображають умовну залежність між змінними.

Вираз

$$p(H_k | E) = \frac{p(E | H_k) \cdot p(H_k)}{\sum_{i=1}^n p(E | H_i) \cdot p(H_i)}, \quad (1)$$

який представляє собою формулу Байєса, є основою, на якій будуються мережі Байєса. В (1) H_k означає будь-яку гіпотезу з n можливих. Ймовірності $p(E | H_k)$ задаються експертами апіорно. Ці ймовірності є дуже корисними, тому що, як правило, легше знайти ймовірність послідовності подій типу причина-наслідок, ніж навпаки. Значення $p(H_k)$ називають апіорними ймовірностями, вони визначають початкові ймовірності для всіх гіпотез. Сила байєсового методу полягає в тому, що апіорні ймовірності можна уточнювати (оновлювати) у відповідності до реалій протікання процесу, що досліджується. Це дозволяє уточнювати ймовірності подій при

надходженні додаткової інформації. Знаменник виразу (1) можна розглядати як нормуючий член.

Типи байєсівських мереж (БМ).

Дискретні БМ – мережі, у яких змінні вузлів представлені дискретними величинами. Вони мають такі властивості: кожна вершина представляє собою подію, яка описується випадковою величиною, яка може мати кілька станів; всі вершини, пов'язані з «батьківськими», визначаються таблицею умовних ймовірностей або функцією умовних ймовірностей; для вершин без «батьків» ймовірності її станів є безумовними. Інакше кажучи, у байєсівських мережах довіри вершини представляють собою випадкові змінні, а дуги – імовірнісні залежності, які визначаються через таблиці умовних ймовірностей. Таблиці умовних ймовірностей кожної вершини містить ймовірності станів цієї вершини за умови станів її «батьків».

Динамічні БМ – мережі, у яких значення вузлів змінюються з часом.

Неперервні БМ – мережі в яких змінні вузлів – це неперервні величини. У багатьох випадках події можуть приймати будь-які стани з деякого діапазону. Тобто змінна X буде неперервною випадковою величиною, простором можливих станів якої буде весь діапазон її припустимих значень $X = \{x \mid a \leq x \leq b\}$, яке містить нескінченну множину точок. В цьому випадку некоректно говорити про ймовірності окремого стану, тому що при їх нескінченно великій кількості вага кожного буде дорівнювати нулю. Неперервні БМ використовуються для моделювання стохастичних процесів у просторі станів з неперервним часом.

Гібридні БМ – мережі, які містять вузли з дискретними і неперервними змінними.

При використанні БМ, що містять неперервні і дискретні змінні, існує ряд обмежень:

1. дискретні змінні не можуть мати неперервних батьків;
2. неперервні змінні повинні мати нормальний закон розподілу, умовний на значеннях батьків;
3. розподіл неперервної змінної X з дискретними батьками Y та неперервними батьками Z є нормальним розподілом:

$$P(X \mid Y = y, Z = z) = N(\mu_x(\mu_y, \mu_z), \sqrt{\sigma_x(\sqrt{\sigma_y})}),$$

де μ_x, μ_y, μ_z – математичні очікування, σ_x, σ_y – дисперсії, $\sqrt{\sigma_x}, \sqrt{\sigma_y}$ – середньоквадратичне відхилення; μ_x лінійно залежить від неперервних батьків, а σ_x взагалі не залежить від неперервних батьків. Однак, μ_x та σ_x залежать від дискретних батьків. Це обмеження гарантує можливість формування точного висновку.

Висновки. В роботі було проведено дослідження існуючих підходів до вирішення задачі розпізнавання графічних образів, їх класифікації. Пропонується для задачі розпізнавання текстових символів, як графічних образів, застосувати підхід з використанням різноманітних мереж Байеса.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Лебедев А.А. Введение в анализ и синтез систем - М.: Изд-во МАИ, 2001. — 352 с.
3. Згуровський М. З., Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просянкін-Жарова Т. І. Байесівські мережі в системах підтримки прийняття рішень — К: ТОВ «Видавниче Підприємство «Едельвейс», 2015. — 300 с.

Т.Л. Мазурок

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ АДАПТИВНОГО НАВЧАННЯ

Анотація. Досліджено особливості інформаційної моделі, що складає основу інформаційного забезпечення системи автоматизованого управління адаптивним навчанням на основі врахування ступеня інтеграції між навчальними дисциплінами, як засобом індивідуалізації.

Ключові слова: інформаційна модель, інформаційне забезпечення, автоматизована система управління навчанням, коефіцієнт інтеграції, інтелектуальні засоби управління.

Вступ

Інформатизація суспільства разом з поглибленням глобалізації, зростанням конкуренції на ринку праці, оновленням затребуваних компетенцій фахівців, зростанням обсягів та темпів оновлення професійних знань обумовлюють необхідність створення умов для реформування освіти. Вказані проблеми знаходять своє вирішення в створенні умов для академічної мобільності, впровадженні новітніх організаційних форм та методів навчання, підвищенні адаптивних властивостей електронних засобів підтримки навчання.

Втім, основні переваги впровадження інформаційно-комунікаційних технологій в освітній процес, різних форм електронного навчання можуть привести до створення власне адаптивних систем управління навчанням, що дозволять повною мірою індивідуалізувати процес навчання, тільки за умов автоматизації саме системи управління освітнім процесом, що має бути системо-утворюючим елементом наскрізної освітньої системи. Саме, автоматизація функцій управління освітнім процесом, є визначальним джерелом підвищення ефективності навчання та надання йому адаптивних властивостей.

Постановка проблеми

Необхідною складовою системи управління складним об'єктом є інформація, що характеризує об'єкт управління. Тому ефективність функціонування автоматизованої системи управління освітнім проце-

сом (АСУ-ОП) значною мірою визначається наявністю адекватного інформаційного забезпечення (ІЗ).

Реалізація структурно-функціональної схеми АСУ-ОП на інформаційному рівні пов'язана зі забезпеченням перетворень, більшість з яких є інтелектуальними. Це обумовлює протиріччя між потребою у спеціалізованій інформаційній підтримці процесу АСУ-ОП, що спрямована на підготовку, використання, передачу різномірних даних і знань щодо управління навчанням, та відсутністю методології створення таких компонент.

Аналіз останніх досліджень

Вдосконалення засобів управління в автоматизованих системах навчання пов'язано з розробкою теоретичних основ впровадження сучасних ІТ в управління навчанням, як цілеспрямованим процесом. Значний вклад у вирішення проблеми пошуку більш прогресивних методів аналізу та проектування освітніх середовищ внесли дослідження Згуровського М.З., Гриценка В.І., Манако А.Ф., Атанова Г.О., Тимченка А.А. та їх численних учнів. Втім, практика створення засобів комп'ютерної підтримки різних форм навчання свідчить про те, що найбільш поширеним підходом до створення таких засобів є суто інформаційний підхід, що пов'язаний зі створенням умов для формування та доставки навчального контенту. Результатом розвитку такого підходу є створення спеціалізованих систем (Learning Content Management System, LCMS) [1]. Втім, зосередженість на інформаційно-технологічних задачах не дозволяє реалізувати замкнений, спрямований, автоматизований варіант управління. Це стримує повноцінне впровадження індивідуалізованого адаптивного навчання, актуальність якого є дидактично обумовленою, особливо в умовах поширення різних форм електронного навчання [2].

Аналіз розвитку систем автоматизованого навчання показав, що подальше зростання адаптивних властивостей навчаючого впливу визначається ступенем розвитку системи управління на основі впровадження кібернетичного підходу (Тализіна Н.Ф., Вінер Н., Растригін Л.О., Верлань А.Ф., Шаронова Н.В., Тодорцев Ю.К. та ін.) та подальшого його розвитку у вигляді синергетичної моделі (Князева О.М., Колесніков О.О., Курдюмов С.П., Пугачьова О.Г., Чалий А.В., Гайдес М.А., Шабров О.Ф.). Реалізація синергетичної моделі управління системою адаптивного навчання визначається особливо-

стями педагогічної системи, як складної організаційно-технічної системи, управління якою містить поряд із формалізованими та слабо структурованими задачами в умовах неповної інформації, ще й клас задач змішаного типу, які використовують як аналітичні, так і евристичні моделі.

Тому актуальною і невирішеною є проблема розробки інформаційного забезпечення системи автоматизованого управління навчанням. Для вирішення цієї проблеми необхідно проаналізувати особливості функціонування АСУ-ОП на інформаційному рівні, визначити основні складові елементи її інформаційного забезпечення (ІЗ), методи їх формування, скласти інформаційну модель управління системою адаптивного навчання.

Ціль статті

Ціллю даного дослідження є аналіз особливостей функціонування АСУ-ОП на інформаційному рівні, визначення основних елементів ІЗ, методів їх формування, розробка інформаційної моделі підтримки системи адаптивного навчання.

Особливості інформаційного забезпечення АСУ-ОП

З відомих трактувань ІЗ до тематики, що розглядається, найбільш підходящою є пропозиція розглядати ІЗ в якості функції управління, діяльності, що організується в рамках управління, яка спрямована на проектування, функціонування та вдосконалення інформаційних систем, що забезпечують ефективне виконання задач управління [3]. У зв'язку з відсутністю однозначного визначення поняття інформаційного забезпечення, під інформаційним забезпеченням системи управління навчанням (ІЗ АСУ-ОП) розуміємо систему програмно-технічних засобів підтримки інформаційних процесів, що є необхідними для функціонування АСУ-ОП.

Розглянемо основні інформаційні процеси та їх характеристики (особливості), які необхідні для функціонування АСУ-ОП. Серед інформаційних процесів можна виділити внутрішні, зовнішні. До зовнішніх відносяться крім зв'язків із АСУ-ОП, зв'язки з користувачем, із зовнішнім середовищем. До внутрішніх інформаційних процесів відносяться процеси обробки даних перед передачею до АСУ-ОП (обробка даних – логічне виведення або обчислення, пошук, передача). Можна визначити деякі важливі особливості зовнішньої первинної (вхідної) інформації: різноманітність джерел інформації,

засобів її надання; неповнота, нечіткість, неметризуємість, погана вербалізація деяких даних; розмите поняття предметної галузі. Внутрішні інформаційні процеси значною мірою пов'язані з забезпеченням інформацією інтелектуальних перетворювачів АСУ-ОП, що потребує організації баз знань.

Відкритість АСУ-ОП, синергетичний принцип її функціонування визначають необхідність підтримки інформаційної взаємодії з зовнішнім середовищем, як джерела отримання додаткової інформації для встановлення інформаційної рівноваги.

Аналіз визначених особливостей дозволяє сформулювати основні невирішені задачі в межах проблеми розробки ІЗ АСУ-ОП:

- а) розробка інформаційної моделі процесу управління навчанням;
- б) створення інформаційної моделі навчального об'єкту, що відображає контент електронного навчального матеріалу та процедуру агрегування міжпредметних навчальних об'єктів;
- в) розробка моделі формування знань для системи управління навчанням;
- г) дослідження доцільних методів здобуття та структуризації знань предметної області на основі експертного оцінювання;
- д) розробка моделі інформаційного супроводження експертного опитування;
- е) розвинення еволюційного підходу до використання накопичених статистичних даних в формуванні нечітких БЗ для АСУ-ОП.

Визначальною задачею, що обумовлює успішність наступних, є саме розробка інформаційної моделі системи адаптивного управління навчанням.

Розробка інформаційної моделі АСУ-ОП

Метою створення інформаційної моделі АСУ-ОП є визначення основних інформаційних об'єктів та інформаційних процесів, що забезпечують АСУ-ОП необхідною інформацією, їх структури, взаємозв'язків. Основними складовими елементами інформаційної моделі (ІМ) АСУ-ОП є наступні: ІМ системи компетенцій; ІМ навчальної дисципліни; ІМ навчального елемента; ІМ міжпредметних зв'язків; ІМ особи, що навчається; ІМ стратегії навчання. Розглянемо структуру цих елементів.

Інформаційна модель системи компетенцій (СКМП) складається з наступних елементів:

$$SKMP = \langle \{VF\}, \{ZD\}, \{SH_{ZD}\}, \{ZM_U\}, \{SH_U\} \rangle, \quad (1)$$

де VF - назва виробничої функції;

ZD - назва типової задачі діяльності;

SH_{ZD} - шифр типової задачі діяльності, який має наступну структуру:

$$SH_{ZD} = \langle V_{ZD}, K_{ZD}, NZ_{VF} \rangle, \quad (2)$$

де V_{ZD} - вид типової задачі діяльності;

K_{ZD} - клас типової задачі діяльності;

NZ_{VF} - номер задачі, наскрізний для даної виробничої функції;

ZM_U - зміст уміння;

SH_U - шифр уміння, який має наступну структуру:

$$SH_U = \langle SH_{ZD}, V_U, R_U, N_U \rangle, \quad (3)$$

де V_U - вид уміння;

R_U - рівень сформованості уміння;

N_U - номер уміння, наскрізний для даної виробничої функції.

Зазначимо, що $SKMP$, в свою чергу, належить до інформаційної моделі так званої професіограми PG , що визначає відповідність кваліфікацій професії, має наступну структуру:

$$PG = \langle \{Ps\}, \{GE\}, R_{ok}, NP \rangle, \quad (4)$$

де $\{Ps\}$ - перелік професійних робіт, які фахівець буде здатний виконувати;

$\{GE\}$ - галузі та підгалузі економіки, до роботи в яких фахівець буде підготовлений;

R_{ok} - освітньо-кваліфікаційний рівень;

NP - спеціальність підготовки.

Схематичне представлення інформаційної моделі професіограми представлено на рис.1. Модель компетенції визначається виробничими функціями VF (1) на основі регламентованих даних, складається з наступних елементів:

$$VF = \langle \{ZD\}, \{SH_{ZD}\} \rangle. \quad (5)$$

Тоді на основі моделі (2) можна визначити інформацію щодо множини вмінь – їх змісту та шифру. Це є входною інформацією моделі навчальної дисципліни.

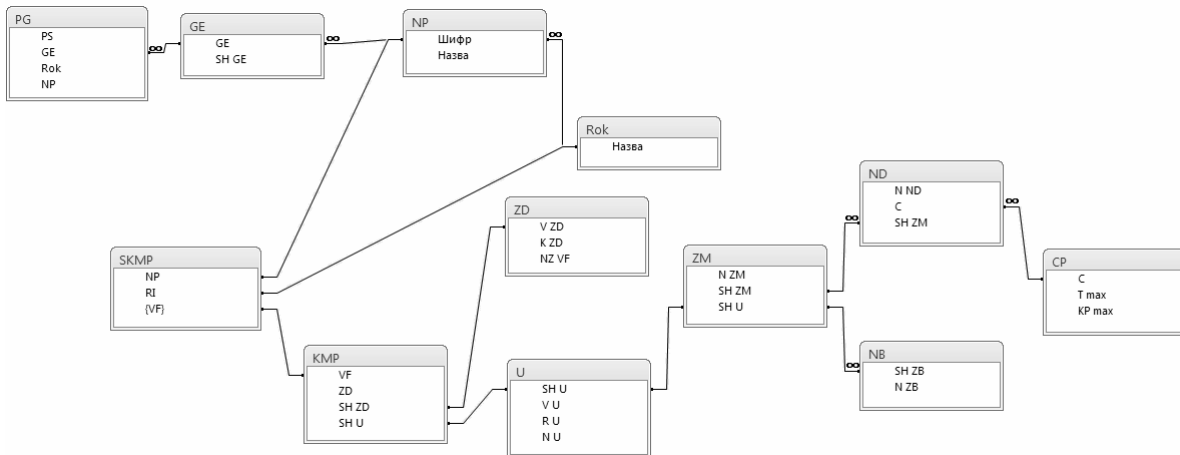


Рисунок 1 - Інформаційна модель професіограми

Модель навчальної дисципліни (НД) визначається переліком необхідних вмінь фахівця та їх шифрами. Модель НД є проміжною між інформацією щодо компетенцій та навчальними елементами. Модель складається з наступних елементів:

$$ND = \langle N_{ND}, C, \{SH_{ZM}\}, T_{\min}, KR_{\min} \rangle, \quad (6)$$

де N_{ND} - назва навчальної дисципліни (НД);

C - цикл підготовки;

$\{SH_{ZB}\}$ - шифр блоків змістовних модулів, що входять до навчальної дисципліни;

T_{\min} - мінімальна кількість навчальних годин вивчення дисципліни;

KR_{\min} - мінімальна кількість кредитів для вивчення дисципліни.

За шифрами блоків змістовних модулів SH_{ZM} можна визначити назви змістовних модулів та їх шифри. Для цього необхідна наявність проміжної моделі – моделі блоків змістовних модулів ZB :

$$ZB = \langle SH_{ZB}, N_{ZB}, \{SH_{ZM}\}, \{N_{ZM}\} \rangle, \quad (7)$$

де N_{ZB} - назва блоку змістовних модулів;

$\{SH_{ZM}\}$ - шифр змістовних модулів, що входять до даного блоку;

$\{N_{ZM}\}$ - назва змістовних модулів.

Сформовані моделі дозволяють отримати на основі інформації від зовнішнього середовища щодо професійних вмінь осіб, що навча-

ються, переліки змістовних модулів, навчальних дисциплін, які за нормативними документами гарантують оволодіння системою компетенцій, що відповідає певній спеціальності, освітньо-кваліфікаційному рівню. Назви навчальних дисциплін, змістовних модулів передаються у АСУ-ОП через ІЗ, функція якого в даному випадку полягає у функціонуванні БД.

Однією з важливих особливостей послідовності НД, які вивчаються за певною спеціальністю, є їх логічний зв'язок, який фіксується в навчальних програмах. Визначення таких зв'язків спирається на інтуїцію викладачів та їх узагальнені уяви про НД навчального плану. Це обумовлено обмеженими можливостями пам'яті людини. Оскільки для АСУ-ОП важливою є інформація не тільки стосовно переліку НД, а і послідовності їх вивчення, то розглянемо структурно-логічну схему формування СКМП або підготовки фахівця. Структурно-логічна схема має вигляд нечіткого орієнтованого графу, вершини якого – назви НД, а дуги – нечіткі відношення \tilde{R} . Якщо позначити множину НД через $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де n – множина НД, то $\mu_{\tilde{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ показує рівень виконання відношення \tilde{R} між елементами $x_i \in X$, $i = 1, n$ [4].

Між НД можуть бути два види відношень – передування та подібності (схожості). Відношення схожості застосовуються в тих випадках, коли НД можуть вивчатись в одному семестрі і це не здійснить суттєвого впливу на якість вивчення наступних дисциплін.

Нечітке відношення схожості є аналогом звичайного відношення толерантності. Нечіткі відношення схожості задаються за допомогою матриць схожості, які можуть бути отримані в наслідок опитування експертів, які для кожної пари НД вказують ступінь схожості в деякій шкалі порівнянь. Антисиметричне, транзитивне нечітке відношення називають відношенням впорядкування або порядку. Порядки, для яких виконується властивість антирефлексивності є строгими порядками. Нечіткі відношення порядку можуть бути отримані за допомогою шкали порівнянь, якою експерти вимірюють впевненість передування. Аналітично модель структурно-логічної схеми надається сукупністю пар НД і множиною нечітких відношень між ними. Тоді узагальнено процес підготовки фахівця може бути надано в наступному вигляді:

$$SLS = \langle DOM X_i, \|\mu_{Rn}\|, \|\mu_{Kc}\|, T_{mini} \rangle, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

де $DOM X_i$ - домен, що визначає множину можливих пар НД;

μ_{Rn} - матриця нечіткого відношення передування НД;

μ_{Kc} - матриця нечіткого відношення схожості НД.

Подальше перетворення матриць нечітких відношень виконується на основі об'єднання:

$$\mu_R = \mu_{Rn}(x, x) \vee \mu_{Kc}(x, x) = \max\{\mu_{Rn}(x, x), \mu_{Kc}(x, x)\}. \quad (9)$$

Тоді структурно-логічна схема (8) може бути визначена як:

$$SLS = \langle DOM X_i, \|\mu_R\|, T_{mini} \rangle, i = \overline{1, n} \quad (10)$$

Отримана схема в процесі навчання має бути відображеною в свідомості фахівця. Цей процес може бути визначений гомоморфним відношенням $\psi : (X, R) \rightarrow M$, де M - образ, що буде сформованим в свідомості фахівця [5]. В ідеальному випадку $(X, R) \equiv M$. На рис.2 графічно проілюстровано гомоморфність відношень між елементами SLS та відповідними елементами M . Але для використання структурно-логічної схеми підготовки фахівця в якості основи для формування траєкторій навчання ще необхідно врахувати інформацію щодо міжпредметних зв'язків між НД, які є відображенням інтеграційних процесів в сучасній науці та практиці, та їх впливів на формування компетенцій.

Інформаційна модель системи міжпредметних зв'язків

Основою цієї моделі є опис взаємозв'язків між навчальними елементами (НЕ), оскільки саме на цьому рівні ієрархії НД (рис.2) здійснюється конкретизація у вигляді відповідних навчаючих дій. Тому спочатку узагальнимо відомості щодо НЕ, сформуємо модель цього об'єкту, як складової частини стратегії навчання.

На основі узагальнення використання НЕ, як об'єкту діагностично заданої мети навчання, об'єкту внутрішніх взаємозв'язків, об'єкту МПЗ та необхідності встановлення відповідності до блоку змістовного модуля (6), визначимо структуру НЕ, як інформаційного об'єкту, наступним чином:

$$NE = \langle N_{NE}, SH_{NE}, \{C_{NE}\}, \{SH_{NB}\} \rangle, \quad (11)$$

де N_{NE} - назва НЕ;

SH_{NE} - шифр НЕ;

$\{C_{NE}\}$ - вектор цілі для НЕ [6];

SH_{NB} - шифр НБ, до якого входить даний НЕ.

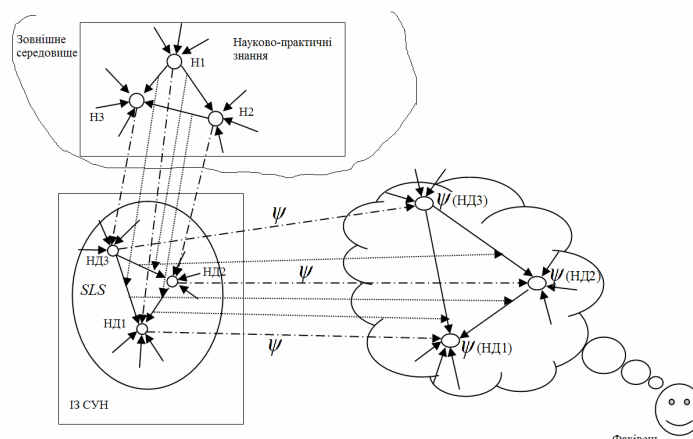


Рисунок 2 - Схема гомоморфних відношень у свідомості фахівця

Зауважимо, що в даний моделі ми не враховуємо наявність декількох вкладених структурних одиниць навчального матеріалу. Тому за моделлю (11) вважаємо, що НЕ підпорядковані безпосередньо змістовним модулям. На практиці між рівнем НЕ і змістовного модуля можуть використовуватись один або декілька проміжних структур, але це суттєво не змінює інформаційну модель. Якщо потрібно додати декілька рівнів, то в інформаційному аспекті це пов'язано з додаванням таблиць однакової структури. Таким чином, в загальному вигляді можна визначити структуру типового навчального блоку (НБ), який може за суттю відповідати темі, розділу, модулю та ін.. Інформаційна модель такого НБ, з врахуванням взаємозв'язків має наступний вигляд:

$$NB_i = \langle N_{NB_i}, SH_{NB_i}, SH_{NB_j}, \{k_{int}\}, \|\mu_{R_{LE}}\|, \{\|\mu_{R1R2}\|\}, \{C_{NB_i}\} \rangle, i = \overline{1, n}, \quad (12)$$

де N_{NB_i} - назва навчального блоку;

SH_{NB_i} - шифр НБ;

SH_{NB_j} - шифри блоків, до яких входить даний блок, як підлеглий;

$\{k_{int}\}$ - коефіцієнт інтеграції структурних одиниць нижчого рівня ієрархії, що визначається на основі використання нейромережі [7];

$\|\mu_{R_{LE}}\|$ - матриця нечітких відношень між структурними одиницями нижчого рівня ієрархії;

$\{\|\mu_{R1R2}\|\}$ - матриці нечітких бінарних відношень між структурними одиницями, що належать до різних НД (міжпредметних);

$\{C_{NBi}\}$ - вектор цілі навчального блоку.

Інформаційна модель НБ дозволяє уніфіковано виділити об'єкт – НБ, за допомогою якого можливе подальше описування всіх структурних одиниць, крім НЕ, НД. На основі узагальнень дещо змінимо модель НД (6) з метою відображення МПЗ. Для цього достатньо додати вектор коефіцієнтів інтегрування:

$$ND = \langle N_{ND}, C, \{SH_{ZM}\}, T_{\min}, KR_{\min}, \{k_{int}\} \rangle. \quad (13)$$

Таким чином, за рахунок визначення коефіцієнтів інтегрування на кожному рівні здійснюється інформаційний зв'язок, який утворює модель міжпредметних зв'язків без виділення окремого інформаційного об'єкту. Тобто модель міжпредметних зв'язків є розподіленою.

Обчислення коефіцієнтів інтеграції здійснюється за одним з двох схем в залежності від особливостей процесу планування навчання.

Висхідна схема обчислення складається з наступних кроків:

Крок 1. Впорядкувати НЕ в межах одного НБ дисципліни НД1. Теж саме виконати для дисципліни НД2. Впорядковування здійснюється за матрицями суміжності.

Крок 2. Підготувати для заповнення експертам – викладачам форми, в яких стовбці і строки відповідають кількості НЕ відповідних блоків з різних НД.

Крок 3. Заповнити комірки таблиці ступенями впевненості експерту в наявності зв'язку між НЕ відповідних НД.

Крок 4. Обчислити за допомогою нейромережі k_{int} .

Крок 5. Повторити кроки 1-4 для всіх пар НБ даного рівня.

Крок 6. Повторити крок 5 для кожного рівня ієрархії до тих пір, поки поточним рівнем не опиниться рівень НД.

Крок 7. Стоп.

Висхідну схему доцільно використовувати при постановці нових НД, формуванні робочих програм та навчальних планів для перевірки після 7 кроку розбіжність між отриманими і заданими ступенями інтеграції між НД. При індивідуалізованому навчанні ви-

конання цієї схеми дозволяє при деяких відхиленнях перевіряти можливість досягнення потрібних ступенів перекриття між НД.

Спадна схема обчислення коефіцієнту інтегрування наступна:

Крок 1. На основі визначених бажаних інтеграцій між НД, вектор яких визначає досяжність потрібної СКМП, сформувати таблицю вхідних даних.

Крок 2. Застосувати метод [8] на основі використання мережі Хопфілда.

Крок 3. Отримати ваги, сутність яких полягає в значеннях сили зв'язків між навчальними блоками нижчого рівня.

Крок 4. Занести значення, що отримані у відповідні матриці МПЗ.

Крок 5. Виконати заміну знайдених ваг за наступним правилом:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } w_{ij} \geq \vartheta, \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (14)$$

де $w_{ij} \in W$ - матриця ваг, ϑ - поріг встановлення доцільності зв'язку на розсуд експерта.

Крок 6. Повторити кроки 1-5 для наступних рівнів до тих пір, поки поточним рівнем не опиниться рівень НЕ.

Крок 7. Стоп.

Спадну схему доцільно використовувати для отримання інформації при складанні робочих програм, реалізації МПЗ при компетентністному навчанні, якщо експертами визначені ступені інтеграції між НД. Отримані результати щодо кількості НЕ з різних НД в одному НБ є орієнтиром для викладача при поточному плануванні. При здійсненні індивідуалізованого навчання, де ступінь інтеграції між НД визначається гнучко, на основі потреб конкретної особи, ця схема забезпечує перетворення вхідної інформації в інформацію, що є необхідною в синергетичній моделі.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Отже, розроблено інформаційну модель МПЗ, яка є розподіленою між уніфікованими ІМ НБ, ІМ НЕ, ІМ НД. Функціонування цієї моделі здійснюється за допомогою двох схем обчислення – висхідної та спадної. Зазначено доцільність застосування кожної з них. Отримана інформаційна модель дозволяє управляти

процесом індивідуалізації навчання на основі інтеграційних характеристик.

Інформаційна модель, що отримана, становить основу розробки цілісного інформаційного забезпечення, що є невідомою складовою автоматизованої системи управління системою адаптивного навчання. Особливістю запропонованої моделі є врахування впливу системи міжпредметних зв'язків на систему компетенцій, що формується. Індивідуалізація навчання забезпечується можливістю управління ступенем інтеграції між навчальними дисциплінами.

До перспективних напрямів подальших досліджень проблеми автоматизації управління навчанням є включення до ІЗ АСУ-ОП спеціалізованих процедур визначення параметрів вектору інтелекту, вектору стану особи, що навчається, з врахуванням особливостей синергетичної моделі управління навчанням.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томашевський В. М. Огляд сучасного стану систем дистанційного навчання / В. М. Томашевський, Ю. Л. Новіков, П. А. Камінська // Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Сер.: Комп'ютерні технології. – 2011. – Вип. 148. – С. 146-157.

2. Єремеева В.М. Індивідуалізація як перспективний спосіб створення технологічних систем професійно-педагогічної підготовки майбутнього вчителя// Професійна педагогічна освіта: системні дослідження: монографія/ за ред. О. А. Дубасенюк. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2015. – С. 210-230.

3. Мельников В.П. Информационное обеспечение систем управления / В.П. Мельников. – М.: Академия, 2010. – 336 с.

4. Медведев В.С. Нейронные сети. Matlab6 / В.С. Медведев, В.Г. Потёмкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.

5. Белова Л.А. Логико-математические основы управления учебными процессами высших учебных заведений: Монография. / Л.А. Белова, К.А. Метешкин, О.В. Уваров. – Харьков: Восточно-региональный центр гуманитарно-образовательных инициатив, 2001. – 272 с.

6. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002. – 352 с.

7. Мазурок Т.Л. Интеллектуальное управление процессом усвоения межпредметных знаний / Т.Л. Мазурок // Управляющие системы и машины. – 2010. - №2. – С. 22-29.

8. Мазурок Т.Л. Нейромережева реалізація інтелектуальної підтримки прийняття рішень в автоматизованому управлінні навчанням / Т.Л. Мазурок, Ю.К. Тодорцев // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. - №3. – С.88-101.

А.И. Михалев, А.А. Стенин, И.Г. Шитикова, В.А. Лемешко
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА
ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗНАНИЙ**

Аннотация. В данной статье предложена модель интеллектуальной мультиагентной системы формирования предметно-ориентированной эволюционной модели знаний и методы ее построения посредством логической оценки получаемых данных из нейронной сети с нейронами, обладающими памятью и интегральной логикой. Предложен оригинальный метод реализации логики на основе генетического алгоритма, который обрабатывает пополняемую базу знаний и совершенствует каждое следующее поколение «генов» посредством взвешивания семантических данных на основе суперпозиции эталонной реакции на ситуацию и оценки ситуации текущим поколением «генов».

Ключевые слова: интеллектуальная мультиагентная система, нейронная сеть, генетический алгоритм, модель знаний, предметная область

Введение

В настоящее время, в смысле автоматизации информационного поиска и извлечения специализированных данных, активно ведётся работа по разработке алгоритмов, которые автоматически генерируют программы-посредники. Задача извлечения является сложной, поскольку требуется извлечь не только вид схемы данных, но также и связанную с ним семантическую информацию. Достижение полной автоматизации в этом вопросе маловероятно, и речь лишь может идти о создании автоматизированных методов и систем извлечения информации из Интернет. Актуальное исследование в области работы со слабо структурированной информацией на основе интеллектуальных агентов привели к появлению большого количества альтернативных инструментов их создания.

Предлагаемая в данной работе интеллектуальная мультиагентная система (ИМС) связана с решением задачи сокращения затрат

времени на поиск необходимых данных и улучшения их смыслового качества.

Постановка задачи

Формализованная модель ИМС может быть представлена тройкой основных функциональных компонентов $MAS = (S, AG, VS)$, где:

- S есть конечное множество состояний внешней среды;
- $AG = \{ag1... agn\}$ есть конечное множество агентов, каждый из которых представлен расширенной моделью интеллектуального агента;

- $VS: S \times A_{ag1} \times \dots \times A_{agn} \rightarrow 2S$ есть функция, описывающая возможную реакцию внешней среды на действия всех агентов системы. Множество всех возможных совместных действий системы обозначим $ACS = A_{ag1} \times \dots \times A_{agn}$.

Известно [2], что множество S развивается эволюционно, распределяясь равномерно по разным логическим категориям знаний. Отсюда и формируемая модель знаний (МЗ), которая с учетом общего состояния множеств AG , VS , ACS и условия важности развития их отдельных составляющих, постоянно обновляет и уточняет своё смысловое содержание. Множество AG связано с созданием онтологий для описаний расширенных моделей и модульного дополнения моделей агентов. Множество ACS динамично обновляется, учитывая все воспринимаемые агентами изменения внешней среды на основе их интегрального опыта. Низкая эффективность работы существующих автоматизированных систем поиска специализированных данных для формирования моделей знаний предметных областей связана с отсутствием адаптивных интеллектуальных механизмов постоянного информационного обновления моделей знаний. Одним из вариантов ее решения и является предлагаемая в данной работе модель ИМС.

Синтез интеллектуальной мультиагентной системы

Структурно ИМС представляет собой нейронную сеть с нейронами, обладающими памятью и интегральной логикой. При этом адаптация ИМС к изменениям внешней среды происходит по принципам генетического алгоритма [5]. Интеллектуальные агенты в данной ИМС обеспечивают интеграцию нейронной сети с логикой принятия решений, основанной на мультиагентном методе синтеза деревьев решений [6]. В предлагаемой ИМС модификация указанного метода состоит в том, агенты переходят с узла на узел не с помощью случай-

ного выбора, а генетическим отбором лучшего потомства. Процесс обучения в ИМС реализуется с обратными связями по различным акцепторам, которые связывают ядро ИМС с модулями обработчиками разных акцепторов и распределённых баз данных, выбранных и построенных под архитектуру ИМС. Данная ИМС предусматривает систематизацию данных моделей знаний и возможность варьирования логического текстостроения. Для реализации элемента «решение» используется опыт, приобретённый так называемым актуальным сенсорным полем (АСП) [3]. АСП – это ассоциативные связи актуальных полей сенсоров с обычной и когнитивной памятью. Далее производится логическая надстройка над ассоциативным запоминающим полем АЗП [3]. Для этого отфильтровываются на начальном этапе поступления информации исключения из правил системы, особые случаи паттернов построения семантики и т.д., а также информация для скрытого латентного слоя. Шифрование информации происходит по схеме вероятностной генерации числовой последовательности случайных кодовых слов из определённой выборки ключевых слов, которые передаются асинхронно в каждом пакете данных с «хэш-ключом соответствия». После осуществления транзакции и передачи пакета данных, ключ уничтожается и генерируется автоматически новая последовательность с новым ключом, вычисляемым из новой последовательности. В случае нарушения работы ИМС используется отдельно построенная выборка, отбираемая по принципу сильнейшего поколения «генов».

Для формирования логики действий интеллектуального агента существует два варианта описания семантики [1]:

- с динамическим ментальным состоянием. В этом случае предполагается, что агент обновляет свое ментальное состояние («намерения») на каждом шаге взаимодействия с внешней средой.
- со статическим ментальным состоянием. В этом случае предполагается, что ментальное состояние агента не изменяется со временем.

Важной составляющей системы является коинтегрированное действие интерпретаторов обоих вариантов описаний семантики. Для этого используется алгоритм автоматического (или автоматизированного) создания онтологий и их запись в распределённую базу данных (РБД). Эта РБД используется интерпретаторами МЗ с автоматическим

выделением категорий в области аксиом построения паттернов, которые характеризуются следующими обязательными онтологическими связями:

- мета описанием базы данных (концептуальная схема);
- описанием знаний об элементах базы данных;
- знаний о взаимосвязи понятий базы данных с понятиями естественного языка) [4].

Все знания предметной области составляют множество $\exists S$ терминов (ключевых слов/запросов) и описываются в виде закономерностей на основе различных типов отношений (прямых и обратных), которые разбиты на восемь групп [4]. Такое разбиение даёт возможность сформировать первый уровень «онтологического представления» информации, т. е. понятийного базиса спецификаций. Фактически, это формирование ассоциативного ряда над базисом аксиом с отображением интегральных и дифференциальных оценок действительности и выделением случайной и предметно-ориентированной информации на скрытый слой, хранящийся в отдельной базе.

Любое решение ИМС есть логически обоснованный общий учёт оценок всех отношений со взвешенными коэффициентами групп отношений и их приоритетными воздействиями на среду и друг на друга. «Намерение» определяется поставленной перед интеллектуальным агентом целью, которая определяется последовательностью оценок приоритетов воздействия определённых логических групп с привлечением эталонной модели, учитывающей все оценки и «возмущения» множеств S , AG , VS , ACS . «Возмущение» есть изменённое состояние основной модели по отношению к эталонной модели.

Каждый последующий уровень выбора онтологического представления информации формируется с учетом специфики предыдущего и интегральной оценки состояний системы в данный момент времени, в котором эталонная модель остаётся стабильной. Алгоритм формирования реализуется на основе индекса специфики принятия решений, определяемого по формуле:

$$i = F(l_j, s_k, h(j, k)), \quad (1)$$

где i – коэффициент обозначающий интегральное соотношение индекса ситуации $s_k = f(h)$ (k – вид ситуации, f определяется пересечением множеств k и k^*) к индексу специфики l_j (j – специфика логики), h – суперпозиционная оценка (учитывается база вероятностей событий), n

- максимальное количество видов ситуаций для группы векторов, \bar{S}
- вектор ситуации, \bar{SL} - направляющий вектор в пространстве логики, вида ситуации и их суперпозиционной оценки h .

Суть бинарного (0 и 1) направляющего вектора состоит в том, что он нулями «обнуляет» те точки векторов ситуаций (определённых групп), которые ИА не должен «проходить» для решения поставленной задачи. Точки векторов - это точки-действия пространства БЗ направляющих логик (действия агентов сети). БЗ направляющих логик включает в себя направляющие вектора, множества специфик логик, вектора и виды ситуаций, скорректированные оценки экспертов для \bar{S} - \bar{SL} и \bar{S}^* - \bar{SL}^* соответственно и временные поведенческие характеристики о количестве раз применений логик и оценок качества (как экспертных, так и системных – агентов оценщиков).

Работа ИМС согласно формуле (1) происходит следующим образом. Индекс специфики уровня онтологического представления

$$l_j = L(k, j, h), \quad (2)$$

функционально определяется через $(k, j) \cap (k^*, j^*)$. Если такое пересечение есть, то оно выделяется (происходит отсечение лишних состояний и оценок) в оценочную меру h и составляет с k, j - три меры функции поведения ИА для «сложившейся» ситуации в пространстве поведений, т.е. поведение агента определяет индекс специфики логики.

Коэффициентами \bar{SL} являются приоритеты, увязанные через дифференциальную составляющую генетического кода потомства G , применяемой в определении индекса специфики логики:

$$l_j = \int G(s_k) dl, \quad (3)$$

основанном на выборе \bar{S} . Каждое новое возмущение создаёт новый момент и переводит статическое ментальное состояние в динамическое учитывая оценки всех возмущений, давая возможность перехода на новый временной этап системы.

Дифференциальное состояние потомства генетического кода G , - это оценка возможного прироста или падения потомства на вектор в пространстве решений трёхмерной функции поведения агента (мерами являются множества (k, j, h)), делают агенты-оценщики, при

этом мера считается полной (то есть коэффициент при точке вектора $\bar{SL} = 1$), тогда и только тогда, когда:

$$\begin{cases} dh \neq 0 \\ dj > 0 \\ dk > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Для построения такой ИМС необходимо иметь соответствующий инструментарий для организации предметной области, создания программных средств спецификации архитектуры агентства и поведения агентов, а также программных средств отладки агентных приложений и наблюдения за поведением созданных агентов. Отсюда для построения ИМС необходим инструментарий, состоящий из двух компонентов:

- средств разработки;
- окружения периода исполнения.

Первый компонент ориентирован на поддержку процессов анализа предметной области, создаваемой МАС, и проектирование агентов с заданным поведением. Второй – обеспечивает эффективную среду для выполнения агентно-ориентированных программ. Общая схема проектирования и реализации агентно-ориентированных приложений представлена на рис.1 [7].

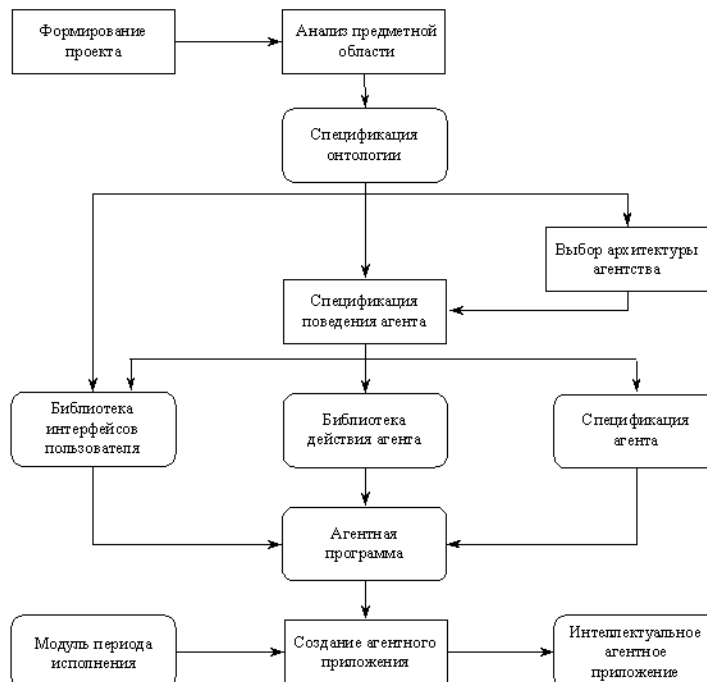


Рисунок 1 - Технологическая схема процесса разработки агентно-ориентированных приложений

При этом процесс обработки информации агентом ("жизненный цикл" агента) включает следующие основные шаги:

- обработка новых сообщений;
- определение правил поведения в текущей ситуации;
- выполнение действий, специфицированных этими правилами;
- обновление ментальной модели в соответствии с правилами;
- планирование.

Заключение

В данной работе разработана модель ИМС формирования эволюционной модели знаний предметной области с алгоритмом принятия решений, основанным на генетическом подходе и мультиагентном методе синтеза деревьев решений и нейронной сети, использующей индекс специфики принятия решений. Снижение времени поиска в ИМС обусловлено алгоритмом отбора управляющих решений, использующим оценки множеств видов ситуаций и специфик логики, а не сами множества.

Повышение качества информации достигается на каждой итерации отбором поведений с высокой частотой использований и отсеканием области суперпозиционных оценок индексом специфики логики и индексом ситуации, что повышает уровень онтологического представления информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугайченко Д.Ю. Разработка и реализация методов формально-логической спецификации самонастраивающихся мультиагентных систем с временными ограничениями: диссертация кандидата физико-математических наук [Место защиты: С.-Пб. гос. ун-т].- Санкт-Петербург, 2007.- 259 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб-2000. ПИТЕР – 48 с.
3. Кисленко Ю.И. От мысли к знанию (нейрофизиологические основания). Киев-2008. «Український літопис». – 38 с.
4. Найханова Л.В., Евдокимова И.С. Методы и алгоритмы трансляции естественно-языковых запросов к базе данных в sql-запросы.- Улан-Удэ: ВСГТУ, 2004.-148 с.
5. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. -221 с.
6. С.А. Субботин, Ан.А. Олейник, Е.А. Гофман, С.А. Зайцев, Ал.А. Олейник Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов. Харьков – 2012. Компания Смит. – 318 с.
7. Чекинов Г.П., Чекинов С.Г. Применение технологии многоагентных систем для интеллектуальной поддержки принятия решений (СППР) // Сетевой электронный научный журнал «Системотехника», №1, 2003.

А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник, І.С. Березкін, П.М. Павлов

**МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРЕНАЖЕРНОЇ УСТАНОВКИ
З ПРОСТОРОВИМИ ПРИВОДАМИ РУХУ**

Анотація. У статті розглянуто програмно-апаратне забезпечення тренажерної установки для підготовки фахівців транспортної галузі. Визначено алгоритм розв'язання задач про положення, швидкості та прискорення ланок мехатронної системи графічним і аналітичним методом. Розроблено повнорозмірну геометричну модель тренажерної платформи з симуляцією руху, за допомогою контролера Motion Capture, у середовищі Autodesk 3D Max.

Ключові слова: тренажерна платформа, мехатронна система, кінематика, моделювання.

Вступ

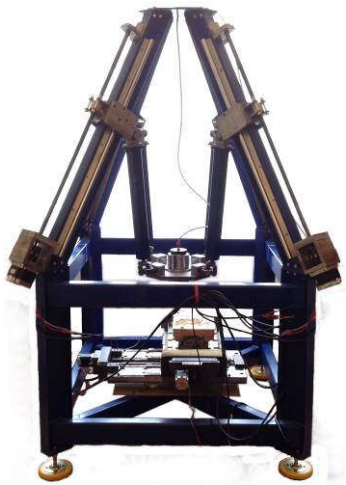
Симулятори руху транспортними засобами використовуються у багатьох галузях людської діяльності: від підготовки спеціалістів до індустрії розваг. На сьогодні можна виділити три різні типи транспортних тренажерів: мототренажери, автотренажери, автобусні симулятори, трекові симулятори і т.д., кожен з яких призначений для підготовки водіїв відповідної галузі [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

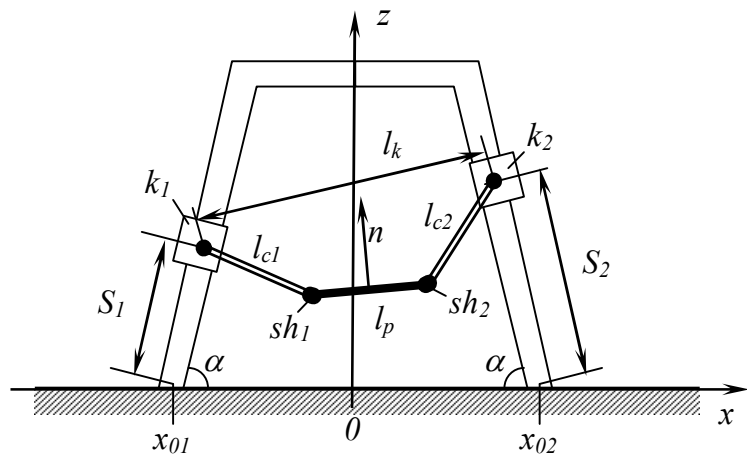
У транспортних тренажерах відносні переміщення кабіни транспортного засобу і дорожнього полотна разом з навколишнім середовищем досягаються шляхом застосування різних багаторухливих просторових механічних систем, в основі яких лежать робототехнічні комплекси. У зв'язку з потребою навчання та перевірки навичок осіб, які задіяні у керуванні транспортними засобами, необхідно забезпечити відтворення реальних умов і навантажень.

Дослідження, на самперед, базується на методах побудови планів основних кінематичних параметрів та надає можливість визначати потрібні конструктивні і швидкісні параметри приводів на стадії проектування в ракурсі рішення прямої задачі кінематики.

В якості приводів крісла тренажера прийнято пірамідальну каркасну установку з МПС. Кінематична схема симетричної установки з двома направляючими штангами приведена на рис. 1.



а) зовнішній вигляд



б) кінематична схема

Рисунок - 1 Просторова система приводів каркасного компонування

Геометричні розміри елементів установки задаються на стадії проектування і виготовлення l_{c1} , l_{c2} , l_p - довжини стержнів (балочних елементів) c_1 , c_2 і майданчика p , на якому встановлюється робочий інструмент; α - кут нахилу консолей (направляючих штанг) до горизонтальної поверхні. Відомими вважаються відстань між опорами $d = -x_{01} = x_{02}$, а також первинні положення S_{01} і S_{02} кареток k_1 і k_2 [2].

Основою є розв'язання прямої задачі кінематики, можна дати оцінку граничним можливостям переміщення майданчика з робочим органом. Для аналізу динаміки (можливих швидкостей переміщення елементів каркасної установки), доцільно застосовувати графоаналітичний метод.

Розглянемо спрощену схему каркасної установки для випадку $l_p = 0$, $\alpha = 90^\circ$. Приклади побудови планів швидкостей ланок МПС і визначення вектору швидкості вихідної ланки \vec{V}_k для різних випадків співвідношення та напрямку \vec{V}_A і \vec{V}_B наведено на рис. 2.

Такі МПС з двома координатами стали традиційними у виробництві маніпуляторів та 3d-принтерів з паралельними напрямними, замкненим кінематичним ланцюгом і приводними каретками А і В [3].

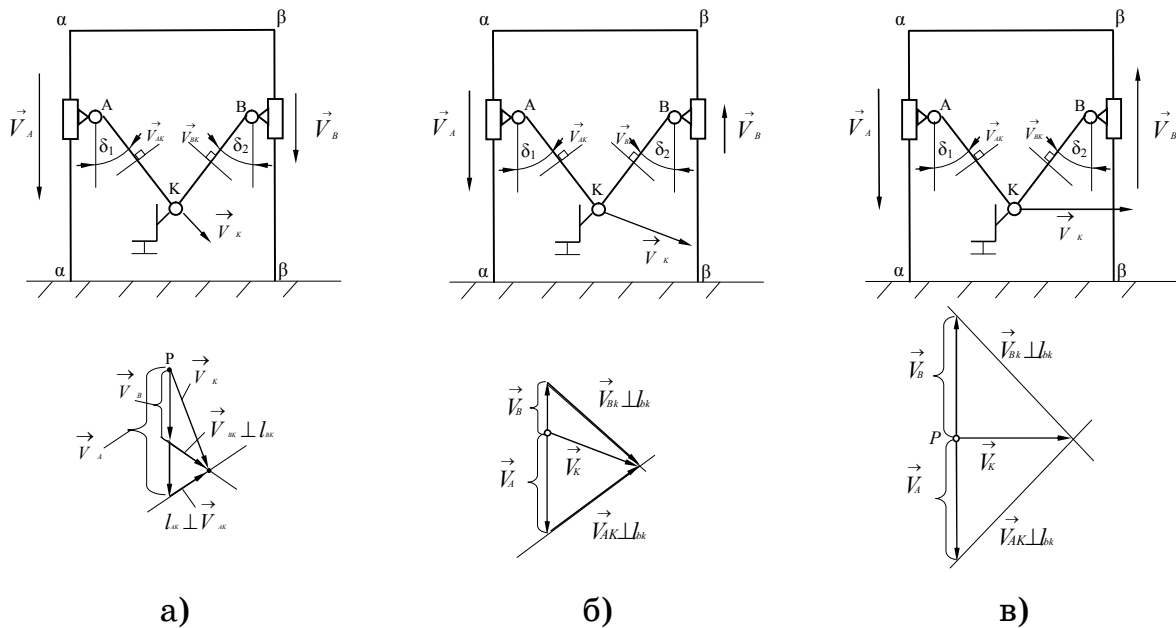


Рисунок - 2 Плани швидкостей ланок МПС і вектору швидкості вихідної ланки \vec{V}_k для різних випадків: а) $\vec{V}_A \downarrow \vec{V}_B$, $\vec{V}_A > \vec{V}_B$; б) $\vec{V}_A \downarrow \vec{V}_B$, $\vec{V}_A > \vec{V}_B$; в) $\vec{V}_A \downarrow \vec{V}_B$, $\vec{V}_A = \vec{V}_B$

Побудова планів імовірних швидкостей має відповідати векторним рівнянням:

$$\begin{aligned} \vec{V}_K &= \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \quad \vec{V}_K = \vec{V}_A + \vec{V}_{AK}; \quad \vec{V}_A + \vec{V}_{AK} = \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \\ \vec{V}_A &\parallel \alpha - \alpha; \quad \vec{V}_{AK} \perp l_{AK}; \quad \vec{V}_B \parallel \beta - \beta; \quad \vec{V}_{BK} \perp l_{BK}. \end{aligned} \quad (1)$$

Пряму задачу кінематики з відповідними векторами \vec{V}_A і \vec{V}_B можна вирішити в наступній послідовності:

$$\begin{aligned} 1) \vec{V}_A &\rightarrow \vec{V}_{AK}; \quad 2) \vec{V}_B \rightarrow \vec{V}_{BK}; \\ 3) \vec{V}_{AK} \cup \vec{V}_{BK}; \quad 4) p &\rightarrow \vec{V}_{AK} \cup \vec{V}_{BK} = \vec{V}_K. \end{aligned} \quad (2)$$

При розв'язуванні зворотної задачі кінематики шуканими параметрами є \vec{V}_A і \vec{V}_B , а заданими \vec{V}_K , а побудова здійснюється за алгоритмом у зворотній послідовності.

Постановка завдання

Метою дослідження є визначення процедур проектування і засобів забезпечення працездатності та керування мехатронними системами відтворення складних рухів для тренажерної техніки з приводами просторової конструкції.

Програмна та апаратна реалізація геометричної і математичної моделі механічної складової і мобільної тренажерної платформи

Для комп'ютерного розв'язку задач кінематики та моделювання роботи просторових симуляторів руху пропонується створення ієрархічно зв'язаної моделі в середовищі 3D Studio max з використанням математичного зв'язку усіх ланок і їх складових, який програмується на мові MaxScript [5].

Створено повнорозмірну геометричну модель механічної складової приводів просторового компонування тренажерної платформи для симуляції руху екіпажів мобільних машин (рис. 3).

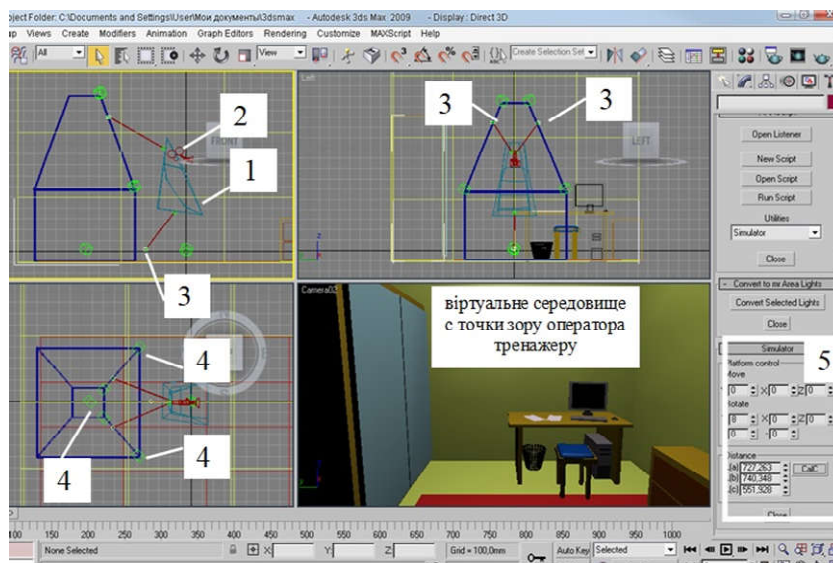


Рисунок - 3 Ієрархічно-зв'язана комп'ютерна модель просторової системи приводів для керування тренажером: 1 – рухома платформа (крісло оператора); 2 – камера, 3 – рухомі каретки; 4 – крокові двигуни; 5 – створене на мові MaxScript додаткове меню для керування рухом оператора і розрахунку l – координат

В результаті моделювання, а саме переміщення та обертання крісла (рухої платформи) в інтерактивному режимі розраховуються значення l-координат та присвоюються змінним Distance (рис.4-б), які можуть бути подані на драйвери крокових двигунів мехатронної системи для відпрацювання. Параметри руху платформи відображаються у додатковому меню Simulator, розробленому за допомогою мови MaxScript. Таким чином, забезпечується необхідне віртуальне пересування і орієнтація оператора.

Для подання сигналів з зовнішнього пристрою керування рухомою платформою з кріслом оператора можна запропонувати стандартний програмний контролер Motion Capture середовища 3D Studio Max.

Присвоївши контролер Motion Capture треку, користувач натискає по треку правою клавішею миші та вибирає команду Properties зі з'явившогося контекстного меню, після цього відкривається діалогове вікно Motion Capture (див. рис. 4). Використовуючи це діалогове вікно, можливо визначити прилад, який буде керувати показниками треку, а саме переміщенням вздовж, або обертанням навколо осей X, Y, Z.

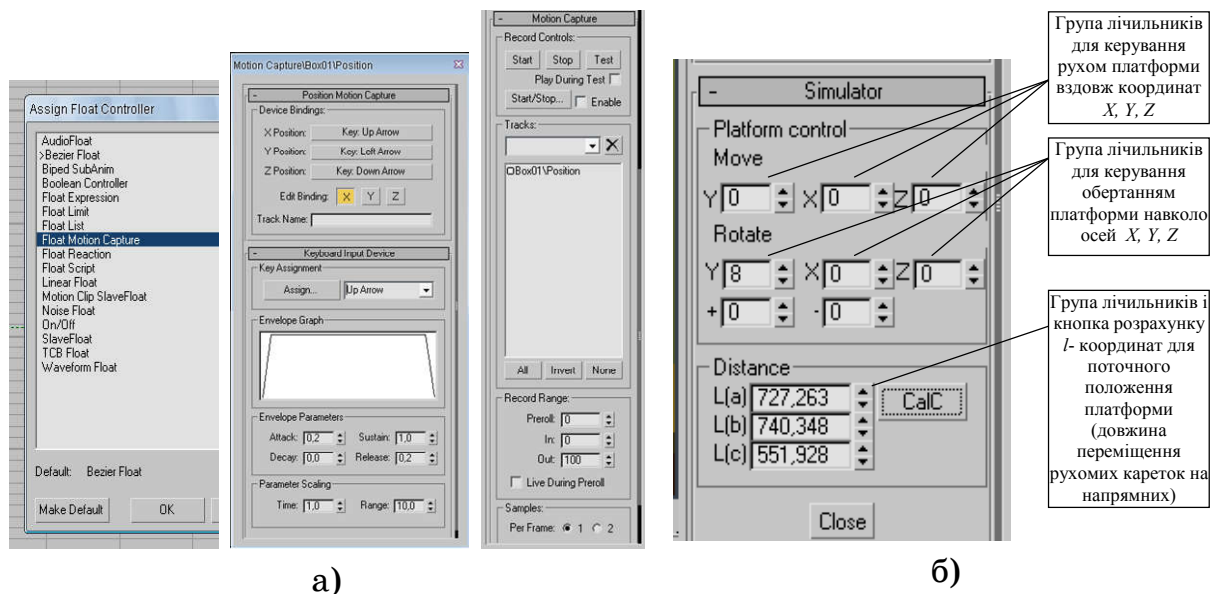
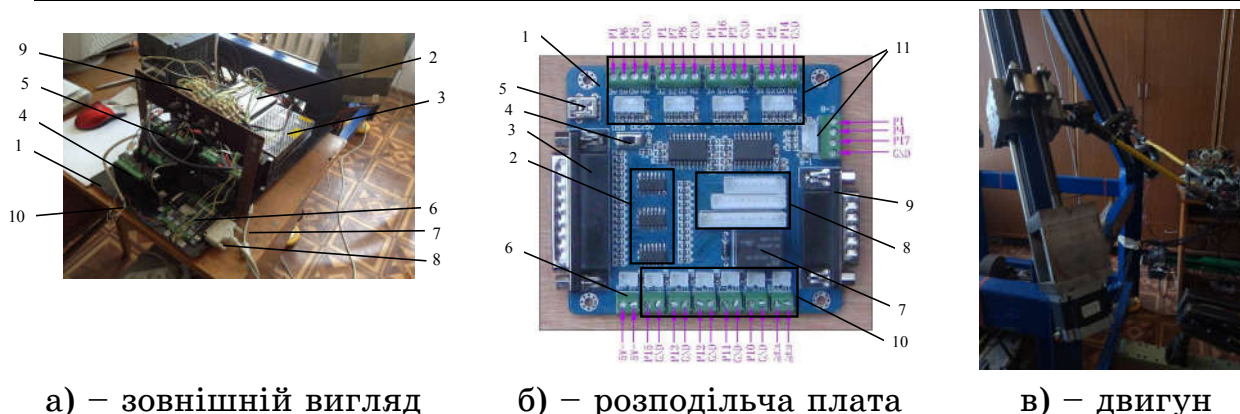


Рисунок - 4 Елементи інтерфейсу середовища 3D Studio Max: а - присвоєння контролера Motion Capture; б - вікно програми керування моделі рухомої платформи

Використовуючи контролер Motion Capture (захоплення руху), можливо керувати трансформацією об'єкта за допомогою зовнішнього приладу, наприклад миші, клавіатури, джойстику, або MIDI-приладу (рис. 5). З метою збору даних о русі, цей контролер використовують разом з засобом Motion Capture.

Система керування (рис. 5, а) складається з основи 1, на якій встановлено блоки живлення з напругою 45В та 24В (поз. 2 та 3 відповідно), які живлять чотири драйвери типу CW5045 для керування кроковими двигунами моделі 34H280-45-4A з передачею гвинт-гайка і рухомою кареткою та два менш потужних драйвери типу CW7030 (поз. 4 та 5, відповідно), а також розподільчу плату 6 з живленням від USB-кабелю 7 та сигнальним кабелем LPT 8. Режим роботи тренажера обираються пакетними перемикачами 9 з чотирма фіксованими положеннями. Розподільча плата з'єднується з драйверами за рахунок кабелів 10.



а) – зовнішній вигляд

б) – розподільча плата

в) – двигун

Рисунок - 5 Система керування рухом платформи тренажера

Ключовим елементом системи є розподільча плата (рис. 5, б) з вказаними номерами каналів LPT-порта (plugs and pins). На монтажній платі 1 розташований ряд мікросхем 2 з опторозв'язкою від LPT-порта 3. Також на платі є перемикач живлення 4 від USB-роз'їма 5 або зовнішнього блока живлення через роз'єм 6. Присутня можливість керування тренажером завдяки іншим пристроям plugs and pins через COM-роз'єм 9. Входи сигналів розташовані на конекторах 10, а виходи до драйверів на конекторах 11 [4].

Досліджено діапазон кутів нахилу оператора, який складає від 0 до 30 градусів навколо осей координат (рис. 6). Швидкість переміщень кареток задається в діапазоні 0.6 м/хв - 1.8 м/хв, яким відповідає кутова швидкість крісла 0.52 рад/хв - 1.6 рад/хв навколо осей.

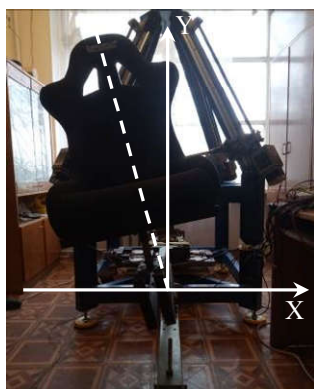
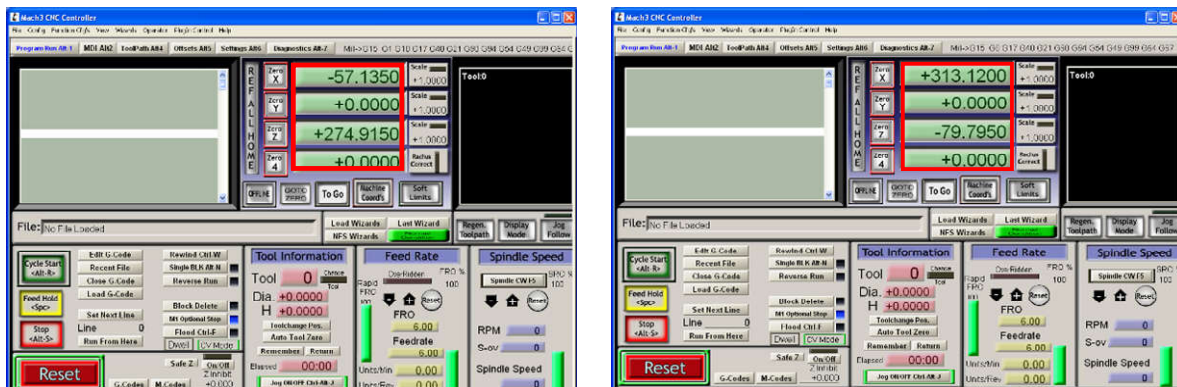
а) – крен на $+15^\circ$ б) – крен на -15°

Рисунок - 6 Наглядне зображення діапазону кутів нахилу дослідного зразка

Для керування апаратною частиною використано безкоштовну програму Mach3 (рис. 7).

Для крайніх положень крісла дослідного зразка тренажеру зафіксовано керовані координати, які відпрацьовують крокові двигуни просторової мехатронної системи.



а) – при повороті на $+15^\circ$

б) – при повороті на -15°

Рисунок - 7 Інтерфейс програми Mach3
і зафіксовані у ньому координати

Переміщення робочого органу задається верхнім рівнем управління, який складається з персонального комп'ютера і керує кожним електродвигуном за допомогою окремого драйвера.

Датчики, розміщені на приводах та елементах конструкції установки, разом складають інформаційно-вимірну підсистему, яка відстежує параметри роботи каркасної установки і відправляє дані на верхній рівень управління [6].

Висновки

Виконаний аналіз сучасних систем тренажерів і тренувальної техніки для екіпажів мобільних машин свідчить про розвиток мехатронних систем з застосуванням конструкцій просторових приводів для відтворення або симуляції складних переміщень несучих платформ з оператором та безпосереднім зв'язком системи керування і відповідним інтегрованим впливом на хід переміщень платформи. Створену ієрархічну 3D – модель тренажерної системи у середовищі 3dStudioMax, що програмно керована кодом MaxScript, можна застосувати з метою інтерактивного керування контролером Motion Capture від зовнішніх пристроїв.

Експериментально встановлено, що робочі параметри виготовленого тренажерного стенду, дозволяють зміну кутів обертання (нахилу) у діапазоні 0.6 м/хв. - 1.8 м/хв. та діагональних швидкостей ланок в межах від 0.52 рад/хв. до 1.6 рад/хв. навколо осей. Отримані

діапазони кутів та швидкостей дозволяють ефективно відтворити роботу багатьох видів мобільних машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біліченко В.В. Аналіз підходів до класифікації автотренажерів для підготовки водіїв / В.В. Біліченко, В.В. Рациборинський // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Вип. №46. - Луцьк, 2014. - С. 29 – 37.
2. Рудакова Г.В. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення для проектування каркасних установок з механізмами паралельної структури / Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, С.В. Ревенко // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 4(63). – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 38 – 43.
3. Дмитрієв Д.О. Застосування графоаналітичного методу для аналізу кінематики механізмів паралельної структури і викладання дисципліни теорія механізмів і машин / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, О.О. Сафьяник // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017.- С. 67 – 71.
4. Учебная программа по мультимедийным и развлекательным приложениям компании Autodesk. Без автора. — Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2006. — 256 с.
5. Кеба П.В. Програмно-апаратне забезпечення і моделювання обробки на верстатах з механізмами паралельної структури / П.В. Кеба, С.М. Півень // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки – 2016. – № 3 (78). – С. 12 – 19.
6. Лебеденко Ю. О. Інформаційно - вимірювальна підсистема багатоприводної каркасної установки з механізмами паралельної структури / Ю.О. Лебеденко, А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 3(62). Т.1. – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 317 – 322.

В.Ю. Царик, О.І. Михальов

ІНФОРМАЦІЙНО-СИНЕРГЕТИЧНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ TEXT MINING

Анотація. В статті досліджено застосування інформаційно-синергетичних методів для інтелектуального аналізу текстових даних. Запропоновані методи аналізу текстів, довжина яких менша, чим характеристична довжина мови, на якій вони написані. Проаналізовано ряд літературних творів, що написані російською та українською мовами з використанням функцій відображення (R) та розвитку (D). Запропоновано використання комплексного критерію K , що об'єднує в собі значення функцій R і D . Показано можливість застосування синергетичного підходу до аналізу різних дискретних систем з кінцевою множиною елементів.

Ключові слова: інформація, синергетика, Text Mining, порядок та хаос.

Вступ. При аналізі дискретних систем із скінченною множиною елементів можливо розглядати елементи цієї системи в площині таких понять, як порядок та хаос, тобто, аналізувати ступінь упорядкованості елементів в даній системі [1, 2]. Для прикладу розглянемо рисунок 1. На ньому зображена система з 16 елементів та її стани з різним рівнем впорядкованості елементів. На 1a елементи повністю впорядковані, на 1d порядок елементів повністю відсутній. 1b і 1c – проміжні стани системи, де наявні і хаос, і порядок.

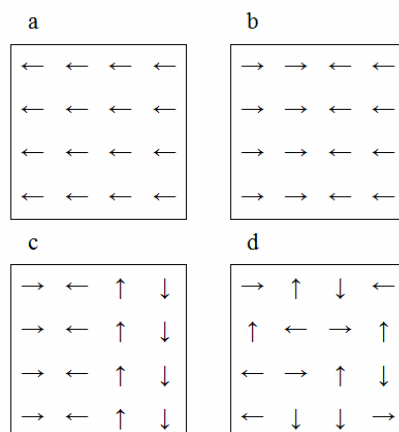


Рисунок 1 – Приклади систем з різним рівнем порядку та хаосу [1]

Кількісна сторона хаосу і порядку в структурі дискретних систем зазвичай характеризується за допомогою статистичної термодинаміки або традиційної теорії інформації [4, 6]. В обох випадках за міру хаосу приймається ентропія. Причому в термодинаміці – це ентропія Л.Больцмана, що статистично виражає другий закон термодинаміки і має теоретичне значення при аналізі молекулярних множин, а в теорії інформації – ентропія (information entropy) множини ймовірностей К. Шеннона, яка служить також і мірою кількості інформації (мікроінформація), переданої у вигляді символічних повідомлень по технічних каналах зв'язку [3, 4].

Відомо [5], що диференційовану оцінку структурного хаосу і порядку в теперішній час ефективно проводити за допомогою синергетичної теорії інформації, предметом пізнання якої є інформаційно-кількісні аспекти відображення дискретних систем в площині ознак їх опису. У даній теорії, при аналізі відображення системи через сукупність своїх частин, отримані функції відображеної і відображеної інформації, за допомогою яких в структурі системи можна індивідуально оцінювати порядок і хаос відповідно. При цьому відображена інформація іменується як адитивна негентропія (мікроінформація) відображення, а невідображена – як ентропія відображення. Також наголошується, що кожна із цих інформаційних функцій має свій безпосередній взаємозв'язок з ентропією Больцмана, а ентропія відображення, крім того, математично тотожна ентропії Шеннона, але, на відміну від останньої, отримана аналітичним шляхом.

У світлі синергетичної теорії інформації мірами структурного порядку і хаосу є адитивна негентропія (мікроінформація) і ентропія відображення, а відношення цих показників іменується R (Reflection) - функцією[1].

$$R = \frac{I_{\Sigma}}{S} = \frac{I_0 - S}{S} = \frac{I_0}{S} - 1 = \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}}, \quad (1)$$

де I_{Σ} – адитивна негентропія (мікроінформація як міра порядку на мікрорівні її запам'ятовування), а S – ентропія відображення (міра хаосу). В свою чергу, кількісні значення негентропії и ентропії відображення можливо знайти, використовуючи наступні формули:

$$I_0 = \log_2 M = I_{\Sigma} + S; \quad (2)$$

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M} \log_2 m_i; \quad (3)$$

$$S = - \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M} \log_2 \frac{m_i}{M}, \quad (4)$$

де I_0 – відображена інформація, M – загальна кількість елементів у складі системи, N – кількість частин системи, m_i – кількість елементів в i -й частині.

R-функція є кількісною характеристикою, що показує співвідношення хаотичності і впорядкованості в системі, тобто визначає структурну організацію даної системи в цілому. Її значення показує, що і в якій мірі переважає в даній системі – хаос або порядок.

Також виділяють функцію розвитку (D (Develop) - функція), яка є добутком один на одного функцій хаосу і порядку:

$$D = I_{\Sigma} \cdot S. \quad (5)$$

Описані інформаційно-синергетичні функції хаосу і порядку мають універсальний характер і можуть використовуватися при структурному аналізі будь-яких дискретних систем з кінцевою множиною елементів. В теперішній час вже проведено подібний аналіз таких різних за своєю природою систем, як електронні системи атомів хімічних елементів, білкові молекули, павутини павуків, поетичні твори і т.д.

Постановка завдання. В даній статті розглядається застосування методів синергетичної теорії інформації до структурного інтелектуального аналізу текстових даних (Text Mining).

Основна частина. Будь-який мовний текст, від одиничного слова до великого літературного твору, може бути представлений як система, елементами якої є окремі букви, а частини являють собою сукупності однакових літер. Відповідно, за допомогою синергетичної теорії інформації можна проводити структурний аналіз довільних текстів з боку їх хаотичності та впорядкованості за кількістю і кількістю народження окремих літер [6].

Так як $S_{\max} = \log_2 N$, то із виразу (1) випливає, що після того, як в тексті будуть задіяні всі букви алфавіту, подальше збільшення його довжини приведе до того, що значення ентропії відображення S почне коливатись біля своєї верхньої границі S_{\max} , в той час як адитивна негентропія I_{Σ} буде нескінченно зростати. Тобто, R-функція

тексту по суті стає залежною тільки від його довжини. Щоб цього уникнути, потрібно встановити порогову довжину тексту, до досягнення якої, і при якій, ентропія відображення S і адитивна негентропії $I\Sigma$ будуть знаходитися в рівних умовах. Такою пороговою величиною є довжина тексту, що знаходиться в стані інформаційно-ентропійної рівноваги при використанні всіх букв алфавіту. Таку довжину прийнято називати характеристичною довжиною тексту, і позначати символом L^* .

Замінюючи в формулі (1) M на L^* і, виходячи з умови $R = \frac{\log_2 L^*}{S} - 1 = 1$, отримуємо, що при інформаційно-ентропійній рівновазі $\log_2 L^* = 2S$, звідки:

$$L^* = 4^S. \quad (6)$$

Для прикладу покажемо розраховані за отриманою формулою характеристичні довжини для різних мов. Використовуються значення ентропії Шеннона (H), що розраховані за сукупністю відносних частот зустрічаємості різних букв і пробілів в російській, англійській, німецькій, французькій, іспанській та українській мовах. Для російської та української мови даний показник з урахуванням не тільки букв і пробілів, а й знаків синтаксису (.,!?:;).

Таблиця 1

Розрахунок характеристичної довжини тексту для різних мов

Мова	L^*
<i>З урахуванням букв і пробілів</i>	
Російська	416
Німецька	294
Англійська	267
Іспанська	249
Французька	242
<i>З урахуванням букв і пробілів і розділових знаків</i>	
Російська	449
Українська	562

Для аналізу текстів необхідно їх розділити на фрагменти, що дорівнюють характеристичній довжині, і досліджувати кожен фрагмент окремо, після чого знайти середні результати для функцій R і D .

Покажемо алгоритм структурного аналізу з використанням інформаційно-синергетичного підходу на прикладі вірша Ліни Костенко «Страшні слова, коли вони мовчать»:

*Страшні слова, коли вони мовчать,
коли вони зненацька причаїлись,
коли не знаєш, з чого їх почать,
бо всі слова були уже чиймись.*

*Хтось ними плакав, мучивсь, болів,
із них почав і ними ж і завершив.
Людей мільярди і мільярди слів,
а ти їх маєш вимовити вперше!*

*Все повторялось: і краса, й потворність.
Усе було: асфальти й спориші.
Поезія – це завжди неповторність,
якийсь безсмертний дотик до душі.*

Тут число букв разом з пробілом (N) дорівнює 32, а їх загальна кількість $M = 423$, що менше за $\text{Лукр}^* = 562$. Частота зустрічаємості окремих букв і пробілу, а також розрахунок значень інформаційно-синергетичних функцій хаосу і порядку, наведені в таблиці 2, з якої видно, що по своїй структурній організації наведений текст близький до інформаційно-ентропійний рівноваги ($R = 1,08$).

Таблиця 2

Розрахунок значень інформаційно-синергетичних функцій хаосу і порядку в буквеній структурі вірша Ліни Костенко «Страшні слова, коли вони мовчать»

№ з.п.	Буква	m	$m \log_2 m$	№ з.п.	Буква	m	$m \log_2 m$
1	пробіл	110	745,95	17	к	8	24,00
2	и	29	140,88	18	д	7	19,65
3	о	28	134,61	19	ч	7	19,65
4	в	21	92,24	20	ш	7	19,65
5	а	20	86,44	21	у	6	15,51
6	с	19	80,71	22	б	5	11,61
7	і	16	64,00	23	й	5	11,61
8	л	16	64,00	24	я	5	11,61
9	е	14	53,30	25	ї	4	8,00
10	н	14	53,30	26	х	4	8,00
11	т	14	53,30	27	ж	3	4,75
12	ь	14	53,30	28	є	2	2,00
13	р	12	43,02	29	ц	2	2,00
14	м	10	33,22	30	г	1	0,00
15	п	10	33,22	31	ф	1	0,00
16	з	8	24,00	32	ю	1	0,00
M						423	
$\sum m \log_2 m$						1913,54	
$I_{\Sigma} = 1913,54 : 423$						4.52	
$S = \log_2 423 - 4.52$						4.2	
$R = 4.52 : 4.2$						1,08	

За таким же принципом проаналізовано ряд російськомовних і україномовних творів. Однак виникла проблема аналізу творів (фрагментів творів), довжина яких менше характеристичної довжини (див. твір Л. Костенко). Запропоновано кілька варіантів вирішення даної проблеми.

Перший підхід полягає в наступному: доповнюємо відсутні символи до характеристичної довжини, вихідним текстом, починаючи з початку твору. Таким чином, зберігаємо структурне співвідношення елементів твору і добиваємося потрібної довжини фрагмента.

Покажемо другий підхід вирішення даної проблеми. Виходячи з того, що автор завершив твір, вважаємо, що його рішення відповідає золотого перетину. Тоді:

$$\frac{L^*}{L} \cong 1.618 \cong \frac{L}{\Delta L}, \quad (7)$$

де L – довжина твору.

Так як $L^*=4S$, отримуємо:

$$L \cong \frac{4^S}{1.618} \cong 0.618 \cdot 4^S. \quad (8)$$

В більш узагальненому вигляді слід використовувати фрактальну розмірність DL , тоді:

$$L = D_L \cdot 4^S, \quad (9)$$

де

$$D_L = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L^* - L}{L} = \frac{L^*}{L} - 1. \quad (10)$$

Із виразу (9) знаходимо ентропію S і використовуємо її для розрахунку функцій R і D .

Третій підхід побудований за тим же принципом, що і попередній, тільки в даному випадку фрактальну розмірність розраховуємо з використанням показника Херста за формулою (11), для чого представляємо текст у вигляді сигналу по значенням індексів з таблиці символів Windows.

$$D_L = 2 - H, \quad (11)$$

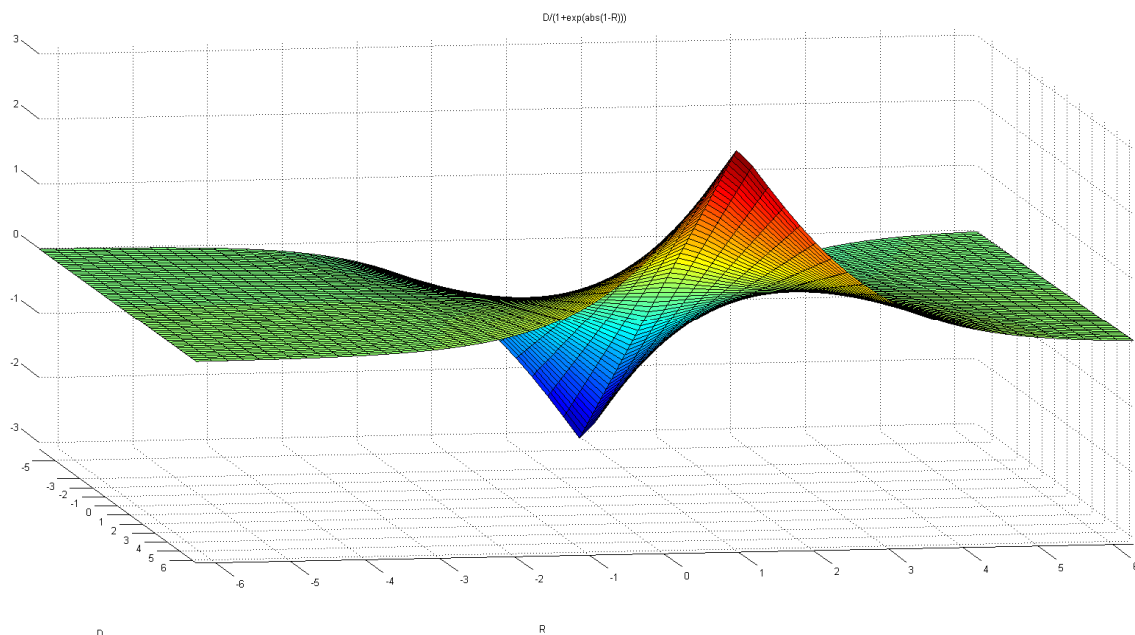
де H – показник Херста, що отримується із виразу (12).

$$M \left[\frac{R}{S} \right] = \lambda n^H, \quad (12)$$

де M – математичне очікування, R – розмах значень, S – стандартне відхилення, λ – константа, що дорівнює 0,5, n – кількість значень сигналу.

Результати аналізу творів з використанням всіх підходів зібрані в таблиці 3. Аналізуючи отримані дані, було прийнято рішення для подальших досліджень використовувати другий підхід, заснований на розрахунку ентропії твору з урахуванням фрактальної розмірності. Крім того, запропоновано комплексний критерій K , який об'єднує значення функцій R і D :

$$K = \frac{D}{1 + \exp(|1 - R|)} \quad (13)$$

Рисунок 2 – Поверхня значень критерію $K(R, D)$

Таблиця 3

Зведена таблиця результатів аналізу літературних творів

№ з/п	Твір	M	Перший підхід		Другий підхід			Третій підхід	
			R	D	R	D	K	R	D
Російськомовні твори									
1	Alekseev – «Чувствую душой»	880	0,997	19,406	0,831	23,963	7,269	0,996	19,157
2	А. Пушкин – «Евгений Онегин»	369*	0,957	19,397	0,751	21,624	6,934	0,943	17,221
3	Грибы – «Таает лед»	1771	1,007	19,398	0,918	21,648	6,179	0,996	19,457
4	М. Цветаева – «Мне нравится»	810	1,010	19,404	0,916	20,358	5,817	0,998	18,529
5	В. Высоцкий – «Я из дела ушел»	1272	0,991	19,403	0,916	20,324	5,810	0,966	19,112
6	П. Гагарина – «Обезоружена»	1281	1,185	19,198	1,019	21,803	5,781	1,101	19,868
7	А. Дементьев – «Ни о чем не жалеете»	782	1,002	19,403	0,911	19,674	5,643	0,954	18,740
8	В. Маяковский – «Долг Украине»	1357	0,957	19,381	0,942	19,249	5,399	0,944	19,252
9	Ф. Достоевский – «Преступление и наказание»	16495	0,967	19,397	0,963	19,402	5,362	0,965	19,348
10	Л. Толстой – «Война и мир»	10140	0,979	19,401	0,975	19,294	5,284	0,976	19,283
11	А. Пушкин – «Дубровский»	14050	0,997	19,403	0,996	19,299	5,206	0,993	19,327
12	А. Розенбаум – «Я родину свою люблю»	978	0,964	19,399	0,958	18,136	5,026	0,921	18,459

№ з/п	Твір	M	Перший підхід		Другий підхід			Третій підхід	
			R	D	R	D	K	R	D
Україномовні твори									
13	Т. Шевченко – «Заповіт»	468*	1,042	20,850	0,787	24,548	7,691	0,969	19,881
14	С. Жадан – «Я знав священика»	1097	1,011	20,859	0,85	25,450	7,621	0,999	20,868
15	В. Симоненко – «Лебеді материнства»	1081	1,021	20,857	0,873	24,509	7,220	1,013	20,562
16	Л. Костенко – «Страшні слова, коли вони мовчать»	409*	1,026	20,856	0,821	20,906	6,389	0,950	17,984
17	П. Тичина – «Гаї шумлять»	407*	0,953	20,847	0,791	20,019	6,245	0,886	17,863
18	В. Стус – «Вдається чи ні...»	946	1,014	20,853	0,933	20,523	5,795	0,964	19,853
19	Леся Українка – «Contra spem spero»	1512	1,021	20,857	0,974	20,573	5,640	1,001	20,002
20	І. Котляревський – «Енеїда» (1 ч.)	1748	1,005	20,856	1,005	20,796	5,571	1,002	20,816
21	М.Коцюбинський – «Фата моргана» (уривок)	4921	1,049	20,845	1,030	20,949	5,511	1,044	20,648
22	І. Драч – «Крила»	1422	1,042	20,850	1,007	19,808	5,300	0,999	19,949
23	В. Сосюра – «Любіть Україну, як сонце, любіть»	1192	1,041	20,844	1,040	19,833	5,180	0,989	20,311
24	П. Чубинський – «Ще не вмерла України»	742	1,022	20,857	1,000	18,117	4,871	0,957	18,723
25	І. Франко – «Гімн»	1138	1,198	20,68	1,172	20,460	4,840	1,177	20,458

Висновки. Структурно-синергетичний аналіз текстів показав, що у всіх досліджених класичних поетичних творів значення R-функції (міра порядку відображеної в хаосі інформації) зі збільшенням довжини тексту, статистично зростають, наближаючись до одиниці. При цьому інтерес також представляє аналіз D-функції (міра розвитку системи – характеристика її прагнення до максимуму інформаційної ємності), яку для розглянутих поетичних творів класиків світового рівня можна розглядати як міру духовності – ступеня практично незмінною в часі інформаційної цінності цих унікальних літературних творів і, що особливо слід підкреслити, написаних на різних мовах. Запропоновано комплексний критерій K, який є достатньо ефективним при аналізі літературних творів (див. таблицю 3).

В цілому, як було показано на ряді прикладів, методи синергетичної теорії інформації є універсальними для структурного аналізу довільних дискретних систем з кінцевою множиною елементів. В прикладному сенсі розглянутий підхід можливо використовувати для виявлення глибинного плагіату з виявленням особливостей стилю написання конкретного автора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вяткин В.Б. Синергетическая теория информации. Часть 1. Синергетический подход к определению количества информации // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №44(10).
2. Царик В.Ю., Михалёв А.И. Методы синергетической теории информации для анализа текстовых данных // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2017): матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 1-3 листопада 2017 року) / Міністерство освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2017. – С. 241-243.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. Динамическая теория хаоса, М.: Наука, 2001. – 105 с.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. иностр. лит., 1963. – 830с.
5. Луценко Е.В. Универсальный информационный вариационный принцип развития систем. // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №41(07).
6. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. – М.: Наука, 1973. – 512с.

В.В. Гнатушенко, О.С. Сизов, О.О. Кавац

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГРАФОВИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ВІДОБРАЖЕННІ ДАНИХ У ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ

Анотація. У статті розглянуто питання візуалізації даних у інформаційному просторі при використанні графових моделей на прикладі соціальних мереж. Граф може бути не тільки статичним, а й інтерактивним, який підтримує різні способи навігації та вимоги користувача. Найближче розташування вершин спостерігається між користувачами, які зареєстровані в одному географічному регіоні, беруть участь в одній групі та мають спільні вподобання.

Ключові слова: граф, модель, інформаційний простір.

Постановка проблеми

В даний час відбувається зростання застосування засобів візуалізації даних, це стосується не тільки публікацій, які використовують інфографіку в наукових роботах або бізнес-презентаціях, але і в web-додатках.

Розширення можливостей реалізації графічних способів візуалізації в браузерях і зростаючий обсяг засобів представлення інформації ставить необхідність управління інформацією в більш широкому вигляді, включаючи її взаємодію, ефективність сприйняття та можливість застосування в інтерфейсах соціальних мереж. Традиційні функціональні можливості відображення користувальницьких повідомлень в інфокомунікаційному просторі не в повній мірі здатні наочно і доступно представити великий потік даних.

Інформаційна графіка розрахована на початкове візуальне сприйняття через використання її елементів, таких як графіки, лінії, піктограми. Зображення можуть спростити або прискорити сприйняття користувачем інформації з таблиць, блок-схем, гістограм. Найбільш часто інформація надається у табличній формі. Лінійна і деревоподібна форма подання даних не мають можливості наочного відображення інформації про взаємодії об'єктів і логічних зв'язків

один з одним. Для підвищення ефективності сприйняття можливо використання графів, які відображують ваги популярності об'єкта, його взаємозв'язки, тематичну схожість, смислове з'єднання об'єктів, наприклад у соціальних мережах. Можливість використання інтерактивного представлення даних у візуальному вигляді на основі графових моделей дає можливість показати взаємодію об'єктів в реальному часі.

Аналіз останніх досліджень

Візуалізація інформації – це процес перетворення великих масивів і складних видів абстрактної інформації в інтуїтивно зрозумілу візуальну форму. Універсальним засобом такого уявлення структурованої інформації є графи. Графи застосовуються для подання будь-якої інформації, яку можна промодельовувати у вигляді об'єктів і зв'язків між об'єктами. Тому візуалізація графових моделей є ключовим компонентом у багатьох додатках в науці і техніці, а методи візуалізації графів є теоретичною основою методів візуалізації абстрактної інформації [1, 2].

У [3] проведено дослідження візуалізації графів і графових моделей, в якому розглянуті питання візуалізації великих графів, інтерактивності та навігації, які характерні для сучасних додатків, що використовують візуалізацію структурованої інформації. Запропоновано і досліджено модель ієрархічних графів, яка орієнтована на моделювання складноорганізованих систем. Вона включає в себе класи складових і кластерних графів, які традиційно використовуються для представлення інформаційних моделей, що мають ієрархічну структуру [4]. Розроблено методи і алгоритми побудови наочних зображень ієрархічних графових моделей на площині [5].

Наведено методологію використання візуалізації соціальних мереж в ході їх аналізу [6]. Її ефективність визначається тим, що інтерпретація формальних параметрів мереж часто не дозволяє розкрити багатоструктурні особливості функціонування, тим більше, з опорою на категорію згуртованості не тільки на макро-, але і на макрорівні [7]. Візуалізація використовується при аналізі динаміки соціальної взаємодії, перевага такої методології – можливість «побачити» структуру аналізованої спільноти, зрозуміти роль окремих акторів [8]. Аналіз ролей окремих акторів можливий тільки в разі, коли досліджуються невеликі мережі, що містять максимум кілька

сотень вершин. Коли ж розміри мережі вимірюються десятками тисяч акторів, метод візуалізації дозволяє представити структуру всієї мережі і запропонувати інтерпретацію її структурних характеристик в контексті аналізу згуртованості групи. Візуалізація даних соціальної мережі дозволяє зрозуміти її структурні особливості, побачити напрямок подальших досліджень соціальної групи [9,10].

Таким чином залишається актуальним и затребуваним завдання аналізу умов ефективного застосування графів у інтерфейсі користувача в інформаційному просторі з множиною повідомлень, що істотно може спростити функціональний пошук за заданими критеріями, спрямований пошук і обробку великої кількості інформації для ефективної взаємодії людини з системою.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета даного дослідження полягає у визначенні умов застосування графових моделей для візуалізації діалогів користувачів і найбільш значущої супутньої інформації.

Основна частина

Зростаючий інформаційний потік і бурхливий розвиток як інтернету в цілому, так і соціальних мереж, призводить до високих інформаційних навантажень, які спрямовані на користувача.

Існуючі інтерфейси соціальних мереж для користувача не дозволяють ефективно і з мінімальними витратами часу переглядати тільки найбільш значущі з точки зору користувача публікації (або повідомлення в груповому обговоренні). Користувач змушений витрачати чимало часу на перегляд малозначимої інформації.

Широке впровадження в соціальних мережах отримав «інтелектуальний» («розумна стрічка», EdgeRank і ін.) спосіб формування новинної стрічки, тобто інструменти фільтрації (приховування новин та повідомлень). Його алгоритми включають сотні метрик та, за заявою розробників, збільшує охоплення цільової аудиторії. Однак використання цих алгоритмів призводить до значного зміщення акцентів на розважальну інформацію і обходить стороною групи з науковими статтями.

У той же час значні можливості надають засоби візуалізації, які є ефективним способом залучення уваги користувача і поліпшення якості сприйняття тексту.

Сервіс newsmar (рисунок 1) використовує плоске деревоподібне представлення даних та видає значення розміру повідомлення (кількість джерел) і кольор (тематика новини) [11].

Інтерактивний граф друзів - додаток дозволяє відобразити соціальні контакти (рисунок 2) [12]. На основі аналізу контакт-листів, додаток здатний групувати контакти. Це призводить до формування візуально скупчених груп контактів пов'язаних між собою.

Debategraph [13] - граф має вигляд радіального і використовується для навігації (рисунок 3). Візуально сторінка розділена на дві частини, зліва навігація представлена у вигляді графа. Кольори вузлів співвіднесені з розділами сайту, розміри ребер однакові.



Рисунок 1 - Вид сайту newsmar.jp



Рисунок 2 - Додаток Інтерактивний граф друзів

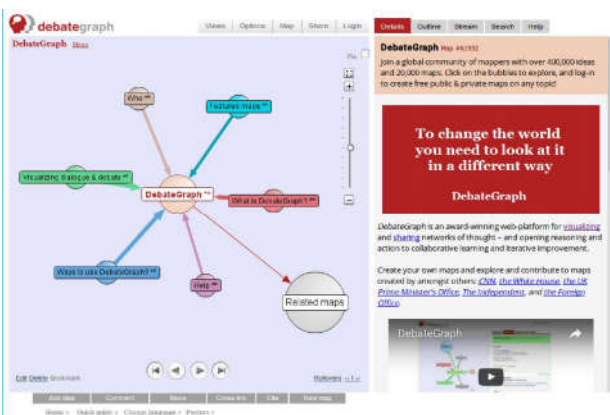


Рисунок 3 – Вид сайту debategraph.com

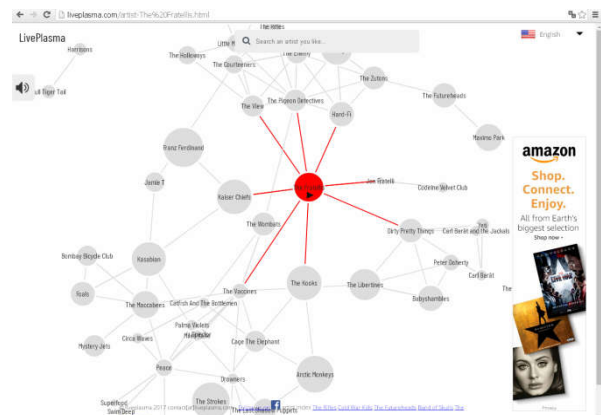


Рисунок 4 – Вид сайту liveplasma.com

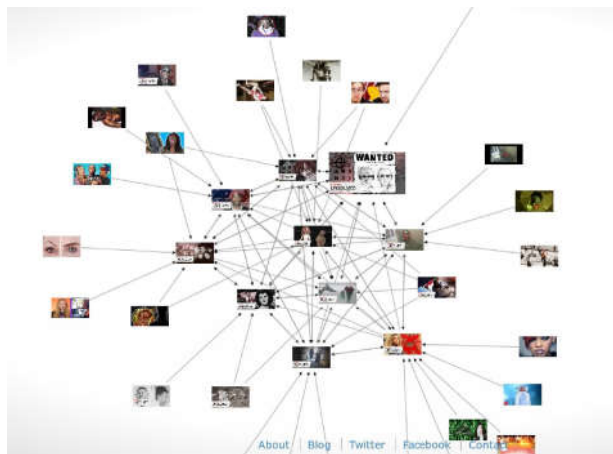


Рисунок 5 – Вид сайту yasiv.com/youtube

Immersion – додаток використовується для візуалізації контактів і схем пересилання пошти від абонента до абонента [14]. Виходячи з аналізу метаданих заголовків листів, додаток будує граф соціальних контактів в залежності від ваги окремих його елементів. Часова шкала дозволяє зрозуміти динаміку зміни контактів за різні періоди. Додаток не є інструментом читання і управління електронної пошти.

Liveplasma (рисунок 4) – граф взаємозв'язків музичних груп/книг або фільмів [15]. Сервіс використовується як пошукова так і рекомендаційна система, граф будується виходячи з даних найменування учасника, популярності, жанру; дозволяє не тільки знайти схожі твори, а й надає можливість купити по посиланням на сервісі Amazon. Візуальне подання близькості розташування об'єктів графа, їх розміри і кількість взаємозв'язків дозволяє знайти найбільш схоже твори.

yasiv.com/youtube [16] - візуалізація орієнтованого графа, де в якості ребер виступають взаємозв'язку сервісу пов'язаних відео сервісу Youtube (рисунок 5). Після завершення збору даних з YouTube, алгоритм змінює масштаб відеозображення, тобто вузлів відповідно до їх рейтингу і підрахунку переглядів. Цей додаток схоже з раніше розглянутим - liveplasma.

Таким чином в результаті проведеного дослідження використання графових моделей для візуального представлення повідомлень в інформаційному просторі зроблені наступні висновки:

Засобом представлення структурованої інформації є графи, на бази яких можливе виконання процесу перетворення великих і

складних видів абстрактних даних в інтуїтивно зрозумілу візуальну форму. Тому візуалізація графових моделей є ключовою компонентою багатьох науково-публіцистичних додатків та програм, методи ж являють собою теоретичну основу. Дані методи і засоби широко використовуються у інформаційних технологіях і програмній інженерії, штучному інтелекті, аналізі та обробці різних видів даних.

Зображення графа можуть бути не тільки статичними, а й інтерактивними, які підтримують різні способи навігації та вимоги користувача, що викликано великим розміром графа, який візуалізується.

Візуалізація системи відносин (дружба, підписка) демонструє не тільки наявність щільно взаємодіючих підгруп (ядер), а й зв'язок між характеристиками реального і мережевого інформаційного простору.

Найближче розташування при візуалізації в віртуальному просторі спостерігається між користувачами, які зареєстровані в одному географічному регіоні, беруть участь в одній групі користувачів та мають спільні вподобання.

Структурні характеристики зв'язку ребер в графі досить складно продемонструвати за допомогою формальних математичних параметрів.

Висновки та перспективи подальших досліджень

В роботі розглянуті можливості застосування моделей графів для візуалізації даних в інформаційному просторі на прикладі соціальних мереж. Для цього проведено огляд існуючих призначених для користувача інтерфейсів, аналіз типової взаємодії користувача з соціальною мережею, розглянуті основні програми візуалізації даних.

При відображенні інформації, яка знаходиться у віртуальному просторі, необхідно враховувати структуру даних і систему зв'язків, контекст. Методи аналізу можуть бути розширено під час розгляду і використання інших характеристик мереж (коефіцієнтів кластеризації, динамічних характеристик).

ЛІТЕРАТУРА

1. Di Battista G., Eades P., Tamassia R., Tollis I. G. Graph Drawing: Algorithms for Visualization of Graphs/ G.Di Battista, P.Eades, R.Tamassia, I. G.Tollis.– Prentice Hall, 1999.– 397 p.
2. Herman I., Melancon G., Marshall M. S. Graph visualization and navigation in information visualization: a survey // I.Herman, G.Melancon, M. S.

Marshall.– IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics. – 2000. – Vol. 6.– P. 24-43.

3. Касьянов В. Н., Евстигнеев В. А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение/ В. Н.Касьянов, В.А.Евстигнеев – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.

4. Евстигнеев В. А., Касьянов В. Н. Словарь по графам в информатике/ В. А.Евстигнеев, В. Н.Касьянов – Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2009. – 300 с.

5. Lisitsyn I. A., Kasyanov V. N. Higrs visualization system for clustered graphs and graph algorithms // I. A.Lisitsyn, V. N. Kasyanov .–Lecture Notices in Computer Science.– 1999.– Vol. 1731.– P. 82-89.

6. Hogan B., Carrasco J., Wellman B. Visualizing personal networks: Working with participant aided sociograms // B.Hogan, J.Carrasco, B.Wellman. – Field Methods.– 2007. –Vol.19(2).– P. 116-144.

7. Chu Kar-Hai, Wipfli H., Valente T.W. Using Visualizations to Explore Network Dynamics [Электронный ресурс]/ Chu Kar-Hai, H.Wipfli, T.W. //Valente Journal of Social Structure. – 2013.– Vol.14. – Режим доступа: <http://www.cmu.edu/joss/content/articles/volume14/ChuWipfliValente.pdf>.

8. Do You Know the Way to SNA ?: A Process Model for Analyzing and Visualizing Social Media Network Data / D.L. Hansen, D.Rotman, E.Bonsignore, N.Milic-Frayling, E.Rodrigues, M.Smith, B.Shneiderman// Proceeding SO-CIALINFORMATICS '12 Proceedings of the 2012 International Conference on Social Informatics, Washington.– 2012. –P. 304-313.

9. Freeman L. Visualizing Social Networks // Journal of Social Structure.– 2000.– Vol. 1.– P. 234-261.

10.Brandes U., Freeman L., Wagner D. Social Networks // Handbook of Graph Drawing and Visualization / Ed. R. Tamassia. Boca Raton, F: CRC Press, 2012.– P. 806-808.

11.Newsmar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newsmar.jp/>.

12.Интерактивный граф друзей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/app2353824_338761.

13.Debategraph [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://debategraph.org/>.

14.Immersion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://immersion.media.mit.edu/>

15.Liveplasma [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://liveplasma.com>.

16.yasiv.com/youtube [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yasiv.com/youtube>.

О.Г. Гоман, В.А. Катан, В.Ю. Клим

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЖИДКОСТЬЮ

Аннотация. Предложена модель ударного взаимодействия плоского рабочего элемента гидродинамического аппарата со свободной поверхностью жидкости. Задача об ударном взаимодействии жидкости и наклонной пластинки сведена к краевой смешанной задаче для некоторой функции комплексной переменной, связанной с комплексным потенциалом течения. Задача об определении положения зоны отрыва течения при ударном взаимодействии наклонной пластинки и жидкости сведена к решению трансцендентного уравнения относительно координаты начальной точки отрыва с использованием формул Адамара – Манглера. В широком диапазоне углов наклона пластинки к свободной поверхности жидкости определены положения зон инерционного отрыва течения, а также гидродинамические распределенные и суммарные характеристики пластинки.

Ключевые слова: удар, отрыв течения, наклонная пластинка, формулы Адамара – Манглера.

Введение и постановка задачи

Математическое моделирование многих процессов гидродинамики опирается на постановку и решение краевых задач теории аналитических функций. При этом главной проблемой исследователей является получение конечных решений в аналитическом виде. Исследование гидродинамического ударного взаимодействия остается актуальной задачей в связи с широкой применимостью ее результатов для улучшения эксплуатационных характеристик высокоскоростных гидродинамических аппаратов и их рулевых устройств.

Ранее в работе [1] получено аналитическое решение задачи об ударном взаимодействии жидкости и наклонной пластины, находящейся на ее свободной поверхности, в виде квадратур, а следующая работа содержит частный случай данной задачи для угла наклона пластинки в 45° , где аналитическое решение представлено через элементарные функции [2].

Пусть наклонная пластина ширины b расположена под углом $\alpha\pi$ на свободной поверхности несжимаемой идеальной жидкости, находящейся в покое и занимающей полупространство. Ось Oy декартовой системы координат, как и раньше, направим по нормали к невозмущенной свободной поверхности жидкости внутри последней, а ось Ox – вдоль свободной поверхности (рис. 1).

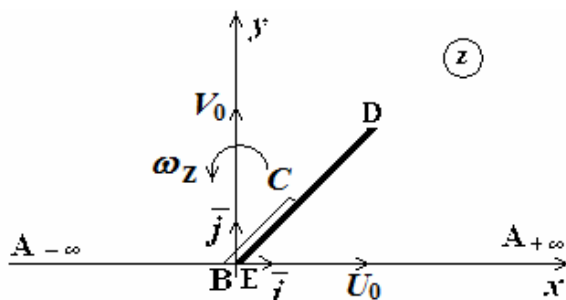


Рисунок 1 - Область решения задачи с учетом зоны отрыва течения

Предполагается, что в результате удара пластинка приобретает скорость

$$\bar{V} = (U_0 - \omega_z y)\vec{i} + (V_0 + \omega_z x)\vec{j},$$

где U_0 – поступательная скорость вдоль оси Ox , V_0 – поступательная скорость вдоль оси Oy , ω_z – угловая скорость. Вследствие наличия отрыва условие безотрывности обтекания распространяется только на участке контура CDE, причем положение точки C заранее неизвестно, и имеет вид

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_{CDE} = \bar{V} \cdot \bar{n}.$$

Тогда для участков CD и DE запишем следующие выражения

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_{CD} = \bar{V} \cdot \bar{n}_r = V_{n_r} = -U_0 \sin \alpha\pi + V_0 \cos \alpha\pi + \omega_z (x \cos \alpha\pi + y \sin \alpha\pi),$$

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_{DE} = \bar{V} \cdot \bar{n}_f = V_{n_f} = U_0 \sin \alpha\pi - V_0 \cos \alpha\pi - \omega_z (x \cos \alpha\pi + y \sin \alpha\pi).$$

На свободной границе – оси Ox и участке отрыва BC – имеем условие равенства нулю импульсивного давления $\phi = 0$. Следовательно получили смешанную задачу для гармонической функции – потенциала скоростей ϕ .

Вид функции тока ψ на участке безотрывного обтекания EDC определяется соотношением

$$\psi = U_0 y - V_0 x - \frac{\omega_z}{2} (x^2 + y^2).$$

Таким образом, в комплексной области $z = x + iy$ для функции

$$\chi = -iw = \psi - i\phi$$

получаем задачу Келдыша-Седова [3]:

на границе CDE задана ее действительная часть

$$\operatorname{Re} \chi|_{CDE} = U_0 y - V_0 x - \frac{\omega_z}{2} (x^2 + y^2),$$

а на границах $A_{-\infty}B$, BC , $EA_{+\infty}$ – мнимая часть в следующем виде

$$\operatorname{Im} \chi|_{A_{-\infty}B} = 0, \operatorname{Im} \chi|_{BC} = 0, \operatorname{Im} \chi|_{EA_{+\infty}} = 0.$$

Аналитическое исследование

Для произвольного угла наклона пластинки решение поставленной задачи $\chi(t)$ определяется формулой с неизвестным параметром q [1]

$$\begin{aligned} \chi(t) &= \psi(t) - i\phi(t) = \\ &= -\frac{1}{\pi} \sqrt{(t+q)(t-1)} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left[b(U_0 \sin \alpha\pi - V_0 \cos \alpha\pi) J_1(t) - \frac{\omega_z b^2}{2} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} J_2(t) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

В предположении о наличии только одной зоны отрыва, найдем ее положение (координату q) по принципу Огазо [4,5] с использованием сингулярных интегралов в смысле Адамара [6,7]. Для этого необходимо определить потенциал течения $\phi(t)$ на участке безотрывного обтекания $t = \xi + i0$, $\xi \in (-q, 1)$. Поскольку интегралы $J_1(t)$ и $J_2(t)$ являются интегралами типа Коши по отрезку действительной оси $\xi \in (-q, 1)$ с помощью формул Племеля-Сохоцкого при переходе из верхней полуплоскости в точку ξ_0 на отрезке $(-q, 1)$ получены выражения для $J_1^+(\xi_0)$ и $J_2^+(\xi_0)$, где $J_1(\xi_0)$ и $J_2(\xi_0)$ – особые интегралы в смысле главного значения Коши [8].

Выделяя действительные и мнимые части в решении (1), приходим к следующим выражениям для функции тока и потенциала течения на смоченной части пластинки:

$$\psi(\xi_0) = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \left(\xi_0 + \frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} (1-\xi_0)^\alpha \left[bU_n - \frac{\omega_z b^2}{2} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \left(\xi_0 + \frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} (1-\xi_0)^\alpha \right] \quad (4)$$

$$\phi(\xi_0) = \frac{1}{\pi} \sqrt{(\xi_0 + q)(1-\xi_0)} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \left[bU_n J_1(\xi_0) - \frac{\omega_z b^2}{2} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} J_2(\xi_0) \right], \quad (5)$$

где $U_n = U_0 \sin \alpha\pi - V_0 \cos \alpha\pi$ – проекция поступательной скорости на нормаль к передней стороне пластинки. Отметим, что выражение (4) является граничным условием на участке $(-q < \xi_0 < 1)$.

Согласно принципу Огазо приходим к следующему уравнению для определения параметра q [8]

$$bU_n J_1(-q) - \frac{\omega_z b^2}{2} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} J_2(-q) = 0. \quad (6)$$

Далее уравнение (6) запишем в виде зависимости кинематического параметра Λ_n от неизвестного q

$$\Lambda_n = \frac{\omega_z b}{U_n} = \frac{2J_1(-q)}{J_2(-q)} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha}. \quad (8)$$

Для фиксированных значений угла наклона пластинки $\alpha\pi$ построены зависимости кинематического параметра $K = \frac{U_n}{\omega_z b}$ от положения

начальной точки отрыва q . Прежде всего, сравнение проведено для тех значений угла наклона пластинки, когда возможно получить точное аналитическое решение задачи: для случая горизонтального удара с вращением вертикальной пластины ($\alpha = 0,5$) и случая чисто вращательного удара пластины, наклоненной под углом $\pi/4$. Аналитические решения и решения, полученные через интегралы в смысле Адамара, сравнивались по зависимости кинематического параметра

$K = \frac{U_0}{\omega_z b}$ от положения начальной точки отрыва q/b . Результаты расчетов для вертикальной пластинки представлены в виде графика за-

висимости кинематического параметра $\Lambda = \frac{\omega_z b}{V_0} = \frac{1}{K}$ от безразмерного

геометрического параметра q . При сравнении результатов с аналитическим решением получено полное совпадение [8].

Дальнейший качественный анализ формы кривой зависимости кинематического параметра Λ от положения точки отрыва при изменении угла наклона пластинки показывает ее неизменяемость по сравнению с задачей удара с вращением вертикальной пластинки. К тому же при значениях кинематического параметра, меньших минимума функции, реализуется режим с одной зоной отрыва. Значение минимума функции с уменьшением угла наклона пластинки незначительно уменьшается, что указывает на сужение множества значений кинематического параметра Λ отрыва, при которых реализуется течение с одной зоной. Для некоторых значений угла α построены графики, указаны особенности зависимости кинематического параметра $\Lambda = \Lambda(q)$, в случае $K = 0$ и $\alpha \rightarrow 0$ [9].

Для определения импульсивного давления на смоченной поверхности твердого тела используем формулу

$$p_t = -\rho\phi(\xi_0), \quad \xi_0 \in [-q, 1], \quad (9)$$

где ρ – плотность жидкости, а потенциал определяется как мнимая часть функции (1) и тогда в безразмерном виде импульсивное давление записывается в форме следующего выражения

$$\bar{p}_t = \frac{p_t}{\rho U_n b} = -\frac{1}{\pi} \sqrt{(\xi_0 + q)(1 - \xi_0)} \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^{1-\alpha} \left[J_1(\xi_0) - \frac{\Lambda_n}{2} \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^{1-\alpha} J_2(\xi_0) \right], \quad \xi_0 \in [-q, 1] \quad (10)$$

Построены графики зависимости импульсивного давления от безразмерной координаты $\bar{\xi} = \xi/b$ для фиксированного значения кинематического параметра. Выделены особенности поведения максимального импульсивного давления в зависимости от угла наклона пластинки и от кинематического параметра: при фиксированном значении угла наклона пластинки максимальное импульсивное давление возрастает от своего значения при предельном значении кинематического параметра до своего значения при стремлении кинематического параметра к отрицательной бесконечности; при фиксированном значении кинематического параметра максимальное значение импульсивного давления монотонно убывает при уменьшении угла наклона пластинки от 900 до 10 [10].

Далее проведены расчеты коэффициентов присоединенных масс $\bar{\lambda}_{11}$ для углов наклона пластинки $\alpha^0 = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ, 10^\circ$ и 10 при предельном значении кинематического параметра $\Lambda_{пред}$ и при значениях $\Lambda = 0,5; 0; -1; -2; -100$. График одной из таких зависимостей представлен на рис.2.

Определение поля скоростей внутри области, занятой жидкостью, проводим согласно формуле:

$$\frac{dw}{dz} = v_x - iv_y = i \frac{d\chi}{dt} \cdot \frac{dt}{dz},$$

где $\chi = -iw$ – характеристическая функция течения и $\frac{dz}{dt} = F'(t)$ – производная от функции конформного преобразования.

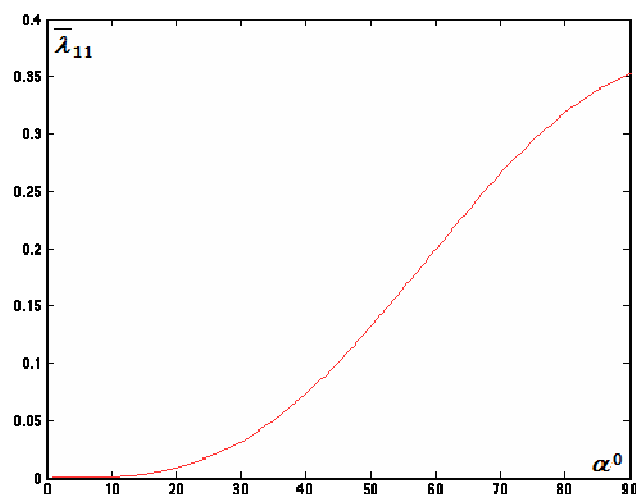


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента присоединенной массы $\bar{\lambda}_{11}$ от угла наклона пластинки α^0 для $\Lambda = 0$

Если нормальная компонента скорости v_n на участке безотрывного обтекания определялась из граничного условия, то для получения касательной компоненты v_s используется процедура дифференцирования потенциала ϕ вдоль контура $v_s = \frac{\partial \phi}{\partial s}$, где координата s – длина дуги вдоль контура пластинки, при ее отсчете от точки Е.

Поскольку потенциал ϕ в процессе решения определялся первоначально в плоскости t как функция переменной ξ_0 , то справедливо следующее выражение:

$$v_s = \frac{\partial \phi}{\partial \xi_0} \frac{\partial \xi_0}{\partial s}. \quad (11)$$

Нормальную компоненту скорости на указанных участках находим по формуле:

$$v_n = \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \psi}{\partial s}. \quad (12)$$

Построены графики зависимости безразмерной касательной скорости \bar{v}_s на передней стороне пластины и безразмерной нормальной скорости \bar{v}_n на свободной поверхности справа от пластины от безразмерной координаты $\bar{\xi} = \xi/b$ при определенных значениях угла наклона пластинки α и кинематического параметра Λ (рис.3, 4).

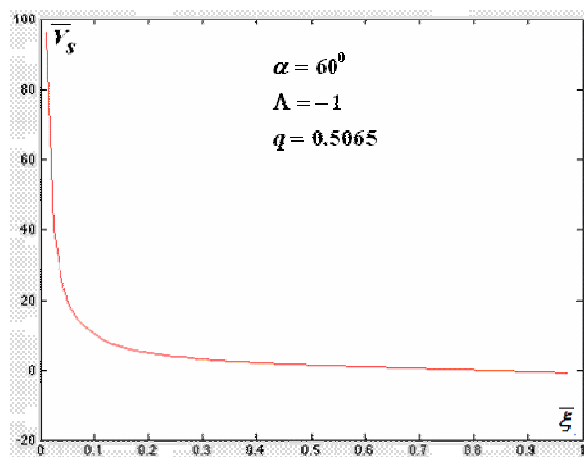


Рисунок 3 - Распределение безразмерной касательной скорости на передней стороне пластины по координате $\bar{\xi} = \xi/b$ для $\alpha = 60^\circ$ при $\Lambda = -1$

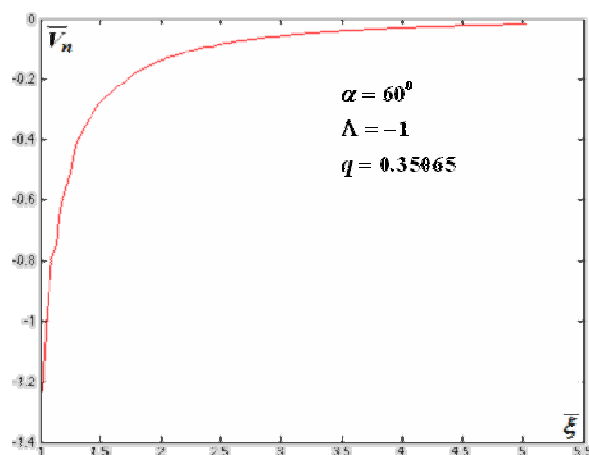


Рисунок 4 - Распределение безразмерной нормальной скорости на свободной поверхности справа от пластины в зависимости от координаты $\bar{\xi} = \xi/b$ для $\alpha = 60^\circ$ при $\Lambda = -1$

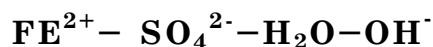
Выводы

Хорошее совпадение данных аналитического решения и решения, полученного через интегралы в смысле Адамара, доказывает возможность применения предложенного нового подхода в определении характеристик отрывных зон при ударном взаимодействии твердого тела и жидкости. Полученные результаты математического моделирования рассмотренной сложной системы могут использоваться в инженерной практике для уточнения постановок задач, а также для корректной постановки и развития вычислительного эксперимента на стадии проектирования и расчета рабочих режимов реальных конструктивных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катан, В.А. Ударное взаимодействие с несжимаемой жидкостью наклонной пластины, плавающей на ее поверхности, при ударе с вращением в условиях отрыва [Текст]/ В. А. Катан // Вісн. ДНУ. Сер.: Механіка. – 2013. – № 5 (21). – Вип. 17, Т.1. – С. 134 – 146.
2. Катан В.А. Моделирование ударного взаимодействия тела и жидкости со свободной поверхностью [Текст]/ В.А. Катан // Восточно-европейский журнал передовых технологий, Прикладная механика, 2014. 2/7(68). – С. 32 – 36.
3. Мусхелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости [Текст]/ Н. И. Мусхелишвили. – М.: Наука, 1966. – 707с.
4. Норкин М.В. Смешанные задачи гидродинамического удара [Текст]/ М.В. Норкин. – Ростов-на-Дону, 2007. – 136 с.
5. Гловински, Р. Численное исследование вариационных неравенств [Текст]/ Р. Гловински, Ж.-Л. Лионс, Р. Тремольер. – М., 1979. – 576 с.
6. Общая теория аэродинамики больших скоростей под редакцией [Текст]/ Под ред. У.Р. Сирса. – М.: Воениздат, 1962. – 300 с.
7. Адамар Ж. Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа [Текст]/ Ж. Адамар. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
8. Гоман О.Г. К вопросу об определении положения зоны отрыва течения при ударном взаимодействии твердого тела и жидкости [Текст]/ О.Г. Гоман, В.А. Катан // Вісн. ДНУ. Сер.: Механіка. – 2015. – № 5(23). – Вип. 19. – С. 15 – 20.
9. Гоман О.Г. Ударное взаимодействие жидкости и наклонной пластинки, находящейся на ее свободной поверхности. Определение положения зоны отрыва [Текст]/ О.Г. Гоман, В.А. Катан // Вісн. ДНУ. Сер.: Механіка. – 2016. – № 5(24). – Вип. 20. – С. 28 – 38.
10. Гоман О.Г. Ударное взаимодействие жидкости и наклонной пластинки, находящейся на ее свободной поверхности. Определение распределенных силовых характеристик/ О.Г. Гоман, В.А. Катан // Вісн. ДНУ. Сер.: Механіка. – 2017. – №5(25). – Вип.21. – С. 58 – 65.

Л.А. Фролова, Л.Б. Анісімова

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНОВАГИ В СИСТЕМІ

Анотація. Методами залишкових концентрацій, потенціометрії, вимірювання електропровідності досліджено систему $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O} - \text{OH}^-$. Встановлено, що механізм взаємодії-дії між FeSO_4 і NaOH залежить від вихідної концентрації ферум (II) сульфату, проходить у дві стадії з утворенням спочатку основної солі і потім гідроксиду.

Ключові слова: ферум (II) гідроксид, механізм, рівновага, модель

Вступ

Гідроксиди, оксиди та оксигідроксиди заліза знаходять широке застосування як адсорбенти, каталізатори, пігменти, магнітоносії [1-5]. Найбільш перспективними технологіями отримання кисеньвміщуючих сполук заліза є гідрофазний метод, який складається з декількох стадій. Друга стадія: дегідратація, окислення, термічний розклад вивчалася багатьма дослідниками [6-8]. Однак, основною в даному технологічному процесі, є лужний гідроліз солей заліза (II) та (III).

Вивченню механізму утворення гідрооксидів, оксигідроксидів та оксидів заліза (III) приділялася пильна увага у багатьох роботах [9-11]. Це обумовлено тим, що саме сполуки заліза (III) є достатньо стабільними та у більшості випадків цільовими продуктами. Процес утворення гідроксиду заліза (II) мало вивчений. Однак, без сумніву, саме на стадії утворення гідроксиду заліза (II) формуються первинні частинки, які обумовлюють морфологію та макро- і мікроструктуру кінцевої сполуки.

Як впливає з аналізу літератури, процес отримання гідроксидів заліза (II) практично не досліджений. Зокрема, зовсім не вивчена реакція утворення гідроксиду заліза (II), вплив умов осадження на повноту проходження реакції, розмір і фазовий склад продуктів, що утворюються.

У даній роботі ставилося метою теоретичне та експериментальне вивчення процесу осадження гідрооксиду заліза з розчинів сульфату заліза (II) їдким натром. Дослідження проводилися з використанням методики розрахунку термодинамічного стану системи виходячи з констант стійкості різних ступенів рівноваги реакції, фізико-хімічного аналізу з застосуванням методів: залишкових концентрацій, виміру рН, виміру електропровідності.

Для визначення умов проведення процесу були проаналізовані термодинамічні і кінетичні умови протікання лужного гідролізу сульфату заліза.

Основним параметром, що характеризує процес гідролізу неорганічних солей заліза в водних розчинах, є рН. Показник рН вихідних розчинів солей заліза в залежності від прийнятої для вивчення вихідної концентрації солей 0,05-0,5 моль/л змінюється. Крім того, метастабільний характер солей двовалентного заліза змушує штучно знижувати рН вихідного розчину введенням кислоти з одноїменним аніоном. Для визначення повноти проходження гідролізу було розглянуто вплив кислотності середовища на рівновагу в системі $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O} - \text{OH}^-$.

Методика проведення експериментів

При роботі за методом залишкових концентрацій до постійної кількості солі заліза (II) додавалися перемінні кількості води і титрованого розчину гідрооксиду натрію для того, щоб загальний обсяг був постійним. Суміш безупинно перемішувалася в термостаті при $20 \pm 10^\circ\text{C}$. Вміст заліза визначали біхроматним способом, вміст OH^- груп по метиловому оранжевому, а в деяких випадках вміст сульфату (у вигляді BaSO_4).

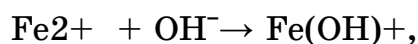
Потенціометричне титрування проводилося при термостатуванні ($\pm 10^\circ\text{C}$) на рН- метрі-мілівольтметрі рН-150. Як вимірювальний електрод використовували скляний марки ЭСЛ-15-11, як електрод порівняння – хлорсрібний марки ЕВЛ-1М4, погрішність вимірів величини рН складала $\pm 0,02$ од. Для одержання порівнянних результатів і спрощення інтерпретації кривих об'єм NaOH , що додавався, приводили до значення співвідношення реагентів або рН.

Вимір електропровідності проводилося за допомогою містка Кольрауша.

Результати досліджень та їх обговорення

Розглянемо вплив концентрації іонів водню на процес гідролізу неорганічних солей заліза.

Іони заліза поступово утворюють сполуки з гідроксоіонами [12]:



Для гідроксиду заліза (II) граничною гідроксоформою є $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Рівновага першого ступеня утворення гідроксосполук описується константою стійкості [12]:

$$K_1 = \frac{[\text{Fe}(\text{OH})^+]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{OH}^-]},$$

де: K_1 - константа стійкості першого ступеня;

$[\text{Fe}(\text{OH})]^+$, $[\text{Fe}^{2+}]$, $[\text{OH}^-]$ - концентрації іонів;

Звідси концентрацію гідроксоформи $[\text{Fe}(\text{OH})]^+$ можна визначити за рівнянням:

$$[\text{Fe}(\text{OH})]^+ = K_1 [\text{Fe}^{2+}] [\text{OH}^-]$$

Рівновага в системі встановлюється відповідно до добутку розчинності, що дорівнює:

$$DP = [\text{Fe}^{2+}] [\text{OH}^-]^2;$$

Тоді концентрацію гідроксоформи $[\text{Fe}(\text{OH})]^+$ можна визначити за рівнянням:

$$[\text{Fe}(\text{OH})]^+ = K_1 \frac{DP}{[\text{OH}^-]};$$

Для другого ступеня гідролізу рівняння рівноваги записується в такий спосіб:



$$K_2 = \frac{[\text{Fe}(\text{OH})_2]}{[\text{Fe}(\text{OH})^+][\text{OH}^-]};$$

Концентрацію гідроксиду $\text{Fe}(\text{OH})_2$ можна визначити за рівнянням:

$$\text{Fe}(\text{OH})_2 = K_1 K_2 DP;$$

Для третьої і четвертої ступенів гідролізу рівняння рівноваги записуються аналогічно



і концентрації іонів $\text{Fe}(\text{OH})^{-3}$, $\text{Fe}(\text{OH})^{42-}$ відповідно рівні:

$$\text{Fe}(\text{OH})^{-3} = K_1 K_2 K_3 \text{ДР}[\text{OH}^{-}];$$

$$\text{Fe}(\text{OH})^{42-} = K_1 K_2 K_3 K_4 \text{ДР}[\text{OH}^{-}]^2;$$

Тоді загальна кількість всіх іонів, що містять залізо дорівнює:

$$C_m = \frac{\text{ДР}}{[\text{OH}^{-}]^2} + K_1 \frac{\text{ДР}}{[\text{OH}^{-}]} + K_1 K_2 \text{ДР} + K_1 K_2 K_3 \text{ДР}[\text{OH}^{-}] + K_1 K_2 K_3 K_4 \text{ДР}[\text{OH}^{-}]^2$$

А молярні частки гідроксокомплексів $\text{Fe}(\text{OH})^{+}$, $\text{Fe}(\text{OH})^2$, $\text{Fe}(\text{OH})^{-3}$ $\text{Fe}(\text{OH})^{42-}$ відповідно дорівнюють:

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + K_1 [\text{OH}] + K_1 K_2 [\text{OH}]^2 + K_1 K_2 K_3 [\text{OH}]^3 + K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}]^4};$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1}{1 + K_1 [\text{OH}] + K_1 K_2 [\text{OH}]^2 + K_1 K_2 K_3 [\text{OH}]^3 + K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}]^4};$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1 K_2 [\text{OH}^{-}]^2}{1 + K_1 [\text{OH}] + K_1 K_2 [\text{OH}]^2 + K_1 K_2 K_3 [\text{OH}]^3 + K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}]^4};$$

$$\alpha_3 = \frac{K_1 K_2 K_3 [\text{OH}^{-}]^3}{1 + K_1 [\text{OH}] + K_1 K_2 [\text{OH}]^2 + K_1 K_2 K_3 [\text{OH}]^3 + K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}]^4};$$

$$\alpha_4 = \frac{K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}^{-}]^4}{1 + K_1 [\text{OH}] + K_1 K_2 [\text{OH}]^2 + K_1 K_2 K_3 [\text{OH}]^3 + K_1 K_2 K_3 K_4 [\text{OH}]^4};$$

Таким чином, молярні частки окремих форм визначаються значеннями констант стійкості відповідних ступенів рівноваги і концентрацією вільних OH^{-} груп. Знаючи значення ступінчастих констант стійкості і задаючи концентрацію H^{+} або OH^{-} , можна визначити частки окремих форм гідроксокомплексів заліза (II) при різних значеннях рН розчину. За [12] для заліза (II) $K_1=3,63 \cdot 10^5$, $K_1 K_2=5,88 \cdot 10^9$, $K_1 K_2 K_3=4,67 \cdot 10^9$, $K_1 K_2 K_3 K_4=3,63 \cdot 10^8$.

За розрахованими значеннями можна побудувати графік розподілу гідроксосполук заліза в залежності від рН середовища. Отриманий графік показує, що осадження солі заліза (II) у вигляді гідроксиду починається при рН = 8, повне осадження досягається при рН = 10,5. При рН = 11,7 починається розчинення гідроксиду заліза (II) з утворенням гідроксоіона $\text{Fe}(\text{OH})^{-3}$, при рН=12 - $\text{Fe}(\text{OH})^{42-}$.

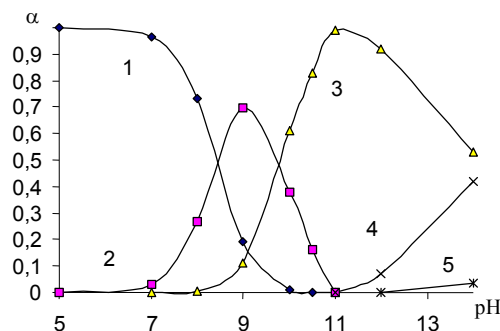
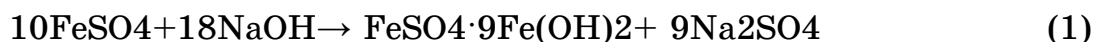


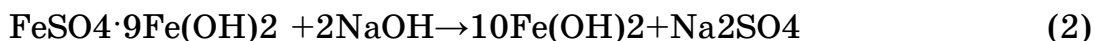
Рисунок 1 - Залежність числа мольних часток гідроксокомплексів заліза (II) від рН розчину; 1 – Fe^{2+} ; 2 – $[\text{FeOH}]^+$; 3 – $[\text{Fe}(\text{OH})_2]_0$; 4 – $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^-$; 5 – $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^{2-}$

Результати експериментальних досліджень при вмісті сульфату заліза $C_{\text{FeSO}_4}=0,55$ моль/л у вихідному розчині, представлені на рисунках 2 та 3.

Як впливає з отриманих даних утворення гідроксиду заліза проходить через проміжну стадію утворення основної солі. З нахилу кривої осадження заліза видно, що майже на всьому протязі до відношення $[\text{OH}^-/\text{Fe}^{2+}]=1,8$, випадає основна сіль складу $9\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{FeSO}_4$. Утворення цієї основної солі відбувається по реакції:



У межах співвідношення $[\text{OH}^-/\text{Fe}^{2+}]$ від 1,8 до 2 відбувається практично повне поглинання іонів OH^- з розчинів основною сіллю, з утворенням $\text{Fe}(\text{OH})_2$ по реакції



У точці з відношенням $[\text{OH}^-/\text{Fe}^{2+}]=2$, закінчується утворення $\text{Fe}(\text{OH})_2$, і в розчині з'являються вільні OH^- групи. Осад гідроксиду не поглинає їдкий натр, що підтверджується нахилом кривої вмісту OH^- на рисунку 2.

Можливий механізм осадження визначали також з кривої потенціометричного титрування, спостерігаючи зміни фізико-хімічних характеристик розчину.

На кривій (рис.3) є дві або три точки перегину при різних вихідних концентраціях сульфату заліза. При цьому досягається перше різке збільшення рН, що свідчить про першу зміну фазової рівноваги за рахунок підвищення рН вихідного розчину. Друга точка перегину безпосередньо відповідає утворенню основної солі заліза, третя - гідроксиду. Результати дослідження системи Fe^{2+} –

SO₄²⁻-H₂O-OH- потенціометричним методом (рис.3) підтверджують висновки, які були зроблені на підставі даних, отриманих по методу залишкових концентрацій: при співвідношенні [OH⁻/Fe²⁺]=1,8 спостерігається плато, що відповідає утворенню основної солі, при співвідношенні [OH⁻/Fe²⁺]=2 – відбувається повне осадження у вигляді гідроксиду заліза Fe(OH)₂ (стрибок потенціалу на рис.3).

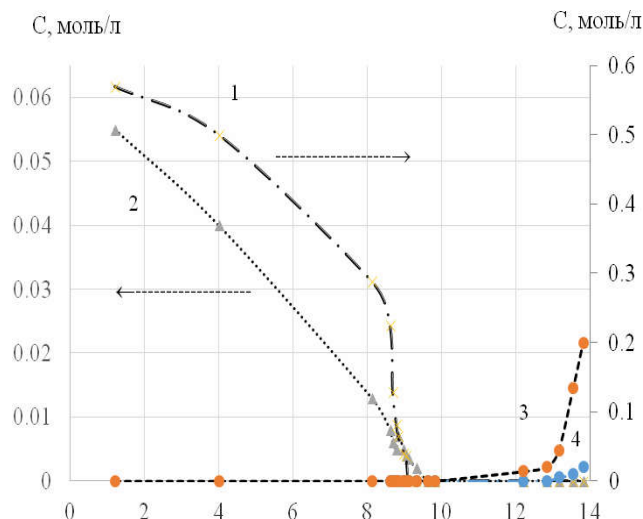


Рисунок 2 - Залежність концентрацій іонів OH⁻, Fe²⁺ в системі Fe²⁺-SO₄²⁻-H₂O-OH⁻ від молярного співвідношення рН:

1- концентрація Fe²⁺ (CFeSO₄ = 0,55 моль/л), 2 – концентрація Fe²⁺ (CFeSO₄ = 0,055 моль/л), 3- концентрація OH⁻ (CFeSO₄ = 0,55 моль/л), 4- концентрація OH⁻ (CFeSO₄ = 0,055 моль/л)

Потрібно відзначити також, що крива титрування відбиває утворення, як гідроксиду, так і основної солі, особливо в концентрованих розчинах.

Як видно з рис. 4, крива електропровідності в системі Fe²⁺-SO₄²⁻-H₂O-OH⁻, на відміну від кривої, отриманої потенціометричним методом, складається з двох частин: I, III. На цей раз утворення основної солі 9Fe(OH)₂·FeSO₄ не фіксується. Це, очевидно, обумовлено тим, що у даному випадку зміна електропровідності розчину пов'язана зі збільшенням концентрації іонів OH⁻, яка починаючи з [OH⁻/Fe²⁺]=2 зростає.

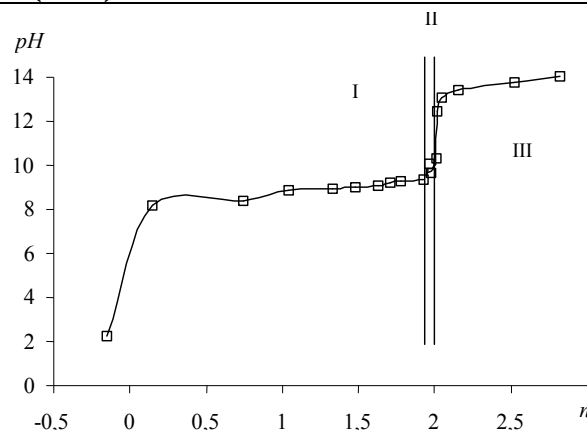


Рисунок 3 - Залежність рН в системі $\text{FeSO}_4\text{--NaOH--H}_2\text{O}$ від молярного співвідношення $n=[\text{OH}^-]/[\text{Fe}^{2+}]$: $C_{\text{FeSO}_4} = 0,55$ моль/л

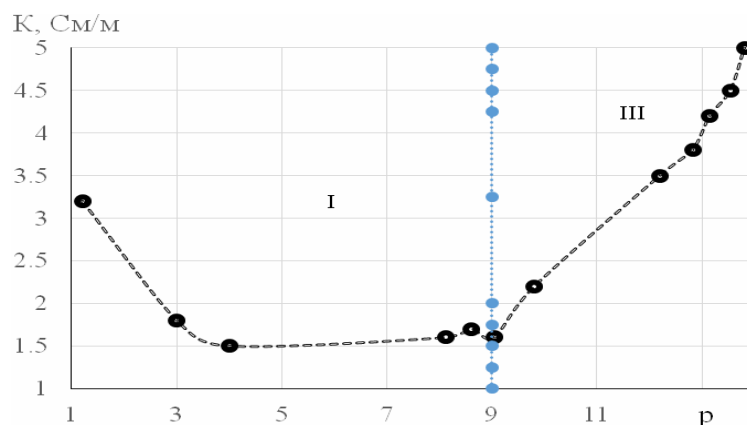


Рисунок 4 - Залежність електропровідності в системі $\text{FeSO}_4\text{--NaOH--H}_2\text{O}$ від молярного співвідношення $n=[\text{OH}^-]/[\text{Fe}^{2+}]$: $C_{\text{FeSO}_4} = 0,55$ моль/л

Висновок

Моделювання рівноваги в системі $\text{Fe}^{2+}\text{--SO}_4^{2-}\text{--H}_2\text{O--OH}^-$ дає змогу визначати області утворення цільової сполуки, керувати процесами синтезу гідроксидів заліза. Експериментальні дослідження системи методами залишкових концентрацій, потенціометрії, виміру електропровідності показали, що реакція взаємодії між FeSO_4 і NaOH протікає в дві стадії з утворенням спочатку основної солі і потім гідрооксиду. У розчинах з концентрацією $C_{\text{FeSO}_4} = 0,55$ моль/л – утворюється основна сіль складу $9\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{FeSO}_4$, що перетворюється на $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Осад $\text{Fe}(\text{OH})_2$ не захоплює луг з розчину. У більш розведених розчинах утворюється гідроксид без утворення проміжної сполуки.

Порівняння розрахованих ступенів перетворення за допомогою моделі та експериментальних даних має деякі відмінності, що стосуються розчинення осаду при рН 13-14. Експериментальні результати не підтвердили присутність розчинних форм заліза(II). Крім того, утворення основної солі як проміжного продукту не враховується при моделюванні рівноваги в системі Fe^{2+} – SO_4^{2-} – H_2O – OH^- . Розбіжності можна пояснити складністю процесів, що відбуваються у розчинах, необхідністю враховувати утворення полігідроксокомплексів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ivantsov, R. Synthesis and characterization of $\text{Dy}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ nanoparticles fabricated with the anion resin exchange precipitation method / R. Ivantsov, N. Evsevskaya, S. Saikova, E. Linok, G. Yurkin, I. Edelman // Materials Science and Engineering: B, -2017.-V.226.-P.171-176.
2. Орлова, А. М. Методика синтеза смешанных железооксидных пигментов и красочных составов на их основе / А. М. Орлова, А. М. Славин // Вестник МГСУ. – 2010. – №. 2.
3. Лесин, В. И. Коллоидные катализаторы на основе оксидов железа (III). 1. Распад пероксида водорода / В. И. Лесин, Л. М. Писаренко, О. Т. Касаикина // Коллоидный журнал. – 2012. – Т. 74. – №. 1. – С. 90-90.
4. Гетерогенный катализ в технологии неорганических веществ / Е. Ю. Либерман, В. И. Ванчурина, В. Н. Грунский, Т. В. Конькова, М. Б. Алехина, // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. –Т.31. С.187-193.
5. Виноградов, В. В. Синтез полимерных гибридных магнитоактивных сорбентов / В. В. Виноградов, Э. Д. Касимова // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – №. 16. – С. 17-22.
6. Frolova, L., Pivovarov, A., Tsepich, E. (2016). Ultrasound ferritization. / L. Frolova, A. Pivovarov, E. Tsepich, // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. - V. 51(2). - P.163-167.
7. Frolova L. A. Production conditions of iron oxide black from pickle liquors //Metallurgical & Mining Industry. - 2014. - №. 4.-P.1-4.
8. Rotaru, R. Ferromagnetic materials obtained through ultrasonication. 1. Maghemite/goethite nanocomposites // Revue roumaine de chimie. - 2017. - V. 62. - №. 2. - P. 131-138.
9. Чалый, В.П. Гидроокиси металлов К.: Наукова думка. - 1972. -159 с.
- 10.Лавриненко Е. Н. Fe (II)-Fe (III)-слоевые двойные гидроксиды (Green Rust) //Наноструктурное материаловедение. - 2009. - С.15-40.
- 11.Клещев Д.Г., Шейкман А.И., Плетнев Р.Н. Влияние среды на фазовые и химические превращения в дисперсных системах. - Свердловск, 1990, - 248 с.
- 12.Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова Думка, 1987. - 838 с.

В.Ф. Балакин, В.В. Перчаник, Д.А. Богдан,

Ю.Д. Угрюмов, С.В. Кадильников

ПУТИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Аннотация. В настоящее время в Украине находятся в эксплуатации 7 трубопрокатных агрегатов (ТПА), в том числе: 2 – с непрерывными станами 30-102 и 80 типа МРМ, 1 – с автоматическим станом 350 и 2 – со станами «Тандем» 140, 1 – с пилигримовыми станами 5-12", 1 – с трехвалковым раскатным станом Ассела 200. Вопросы развития процессов горячей прокатки труб в Украине зависят от многих факторов, как от внутренних – востребованности внутреннего рынка, так и от внешних – экономической и политической ситуации в мире, и как, следствие, спроса на внешних рынках. Важнейшее значение имеют вопросы модернизации действующих ТПА, чтобы они отвечали современным требованиям по качеству продукции и экономичности производства для поддержания необходимой конкурентности на мировых рынках.

Ключевые слова: пилигримовый стан, автоматический стан, стан Ассела, трубопрокатный агрегат, качество продукции, экономичность производства.

Наиболее распространенными в мире являются ТПА с автоматическими станами, которые характеризуются высокой маневренностью, широким размерным и марочным сортаментом труб. Агрегат с автоматическим станом включает прошивные косовалковые станы, станы продольной прокатки в круглом калибре с неподвижной оправкой, обкатные машины поперечно-винтовой раскатки на оправке, редукционные и калибровочные многоклетевые станы продольной прокатки.

Основным недостатком традиционной технологической схемы прокатки труб в круглом калибре на неподвижной оправке является низкая (20-50 % за 2 прохода) деформационная способность главного агрегата – автоматстана, а также низкая производительность многопроходного процесса. Именно эти недостатки породили новый технологический процесс – высокопроизводительную непрерывную про-

катку труб на цилиндрической оправке в системе 7-9 клетей продольной прокатки с общей деформацией 65-85 %. Производительность ТПА с непрерывным станом в 3-4 раза выше производительности ТПА с автоматстанами.

Главными недостатками традиционной технологической схемы прокатки труб в круглом калибре на неподвижной короткой оправке являются: затрудненные условия заполнения очага деформации при совместном противодействии осевого сопротивления конусной оправки и осевых составляющих нормальных сил на поверхности контакта металла с калибром осевым составляющим касательных сил трения, обеспечивающим зацепление металла с рабочим валком; высокая неравномерность деформации по периметру за счет отсутствия замкнутого кольцевого профиля; обжатие по стенке с одновременным уменьшением диаметра, что в совокупности с затрудненными условиями захвата ограничивает деформационную способность процесса; низкое качество внутренней поверхности при раскатке гильзы на короткой неподвижной оправке; относительно низкая точность труб и высокая продольная разностенность вследствие неравномерности теплового режима обработки в многопроходной схеме.

Совершенствование технологии горячего передела происходило без существенного рационального перераспределения деформаций между основными станами ТПА. В составе ТПА появились редуционно-растяжные станы, расширяющие сортамент в область малых диаметров труб и увеличивающие длину раската после промежуточного подогрева. Но при глубоком редуцировании возникли проблемы производства тонкостенных труб. Различные режимы натяжения концевых участков раската приводили к дополнительной продольной разностенности и увеличению концевой обрезки. Дальнейшее развитие ТПА с автоматстанами – это создание станов типа «Тандем» с последовательным или каскадным расположением рабочих клетей продольной прокатки труб и применением редуцирования после промежуточного подогрева. Ввод в эксплуатации, такой схемы немедленно ограничил марочный сортамент, а также его размерную часть для труб малого диаметра, повысил также расходные коэффициенты при прокатке труб с редуцированием при большом натяжении. Деформационная способность первой стадии передела «прошивка гильзы – раскатка трубы в круглом калибре» осталась на прежнем уровне.

Общее обжатие стенки в станах продольной прокатки ТПА типа «Тандем» не превышает 3-3,5 мм, а энергозатраты существенно выросли за счет большой протяженности раскатных полей, использования промежуточного подогрева трубы перед редуцированием и большой мощности приводов прошивного и раскатных станов. Понижилась также точность из-за существенного изменения температуры металла по длине тонкостенной гильзы.

Таким образом трубопрокатные агрегаты с станами типа «Тандем» обладают существенными недостатками в сравнении с линейными автоматстанами старого типа, несмотря на преимущества в части производительности (в 1,5-2,1 раза). Агрегаты такого типа не получили развития в мировой практике.

Конъюнктура рынка в условиях глобализации экономики поставила на первое место получение качественной продукции малотоннажными партиями труб широкого размерного и марочного ассортиментов при минимизации инвестиционных затрат. Получила развитие тенденция реконструкции действующих ТПА с автоматическими станами путем замены главного агрегата – в частности линейного стана продольной прокатки многоклетевыми оправочными станами либо станами поперечно-винтовой прокатки.

Эффективность такой замены, как обычно, имеет двойственный характер. Пример тому – высокопроизводительный «тандем» полунепрерывного типа. Обеспечение на нем широкого ассортимента за счет применения редуционно-растяжных станов практически исключает производство тонкостенных труб малого диаметра. Раскатные длиннооправочные станы поперечно-винтовой прокатки с приводными направляющими дисками, обеспечивая существенное повышение точности труб, также ограничивают марочный ассортимент за счет неблагоприятной схемы напряженно-деформированного состояния с преобладанием знакопеременных растягивающих напряжений. В мировой практике такие станы не нашли широкого применения. Непрерывные многоклетевые двухвалковые станы MPM с удерживаемой цилиндрической оправкой фирмы «SMS Demag Innse» долгое время считались образцом современного оборудования для производства горячекатаных бесшовных труб, однако, дальнейшее совершенствование технологии на этих станах вряд ли возможно в связи со спецификой двухвалкового способа раскатки гильзы. Поэтому фирма

«SMS Meer GmbH» пошла по пути разработки непрерывных трехвалковых многоклетевых станов PQF с удерживаемой оправкой.

Технология производства горячекатаных труб в трехвалковых станках PQF имеет ряд несомненных преимуществ перед прокаткой труб на станках МРМ, главным из которых является уменьшение в два раза высоты калибра, за счет чего достигается более равномерная деформация в прокатной щели и меньшее скольжение на поверхности контакта металла с валком. Увеличение количества выпусков в калибре снижает точность прокатной щели и увеличивает протяженность необрабатываемых участков периметра в каждой клетке – а это точность профиля. Считается, что эта технология обеспечивает возможность ужесточения допусков по стенке до 10 %: ужесточение допусков на 1 % на трубопрокатной установке с объемом производства 200 тыс. т в год дает эффект 600 тыс. евро в год.

Ввиду отмеченных выше особенностей производства труб на станках PQF и прежде всего их экономичности только при больших объемах производства необходимость строительства такого стана в Украине в перспективе не целесообразна. В настоящее время основное направление развития производства горячекатаных труб связано с применением непрерывнолитой заготовки круглого поперечного сечения. Исторически технология производства труб строилась на использовании конкретного типа исходной заготовки. Применение мартеновского слитка стационарной разливки предопределило схему Кальмеса с получением гильзы в две стадии. Дополнительная раскатка на элонгаторе потребовалась также при применении непрерывнолитой заготовки квадратного сечения после ее прошивки на прессвалковом стане.

Не вызывает сомнения тот факт, что необходима обоснованная модернизация основных способов производства бесшовных горячекатаных труб на агрегатах с автоматическими, непрерывными, пилигримовыми и станами Ассела. При этом кроме планировочных конструктивных решений в первую очередь необходимы новые технологические идеи, к которым несомненно относится технология продольной прокатки труб в трехвалковых станках.

В основу реализации этой цели следует положить новую идею продольной прокатки труб в круглом калибре на неподвижной конусной оправке, установленной за линией центров рабочих валков (Спо-

соб прокатки труб. Патент России № 2148485, Бюл. № 13, 10.05.2000). Новая технология обеспечивает повышение деформационной способности главного агрегата, повышенную точность труб и снижение расхода металла. Она может быть использована как при модернизации действующих трубопрокатных установок, так и при создании новых прокатных станов. Интересна также идея совмещения двух технологий – прокатки труб в трехвалковых калибрах на неподвижной конусной оправке, установленной за линией центров. Для этого в пятиклетевом стане PQF в первых двух клетях устанавливается блок-оправка (конус + цилиндр), удерживаемая оправочным стержнем на входной стороне стана, работающем на растяжение. Последние три клетки могут обеспечивать безоправочную калибровку или же продолжать деформацию стенки на удлинённой блок-оправке с двумя конусными и тремя цилиндрическими участками.

Одним из направлений совершенствования технологии производства труб на ТПА с пилигримовыми станами является снижение технологической обрезки в затравку и пильгерголовку, что имеет свои особенности при прокатке тонкостенных и толстостенных труб. В НМетАУ разработаны способы снижения расхода металла в обрезь на пилигримовом стане, которые могут быть использованы для модернизации действующего ТПА 5-12" ПАО «Интерпайп НТЗ». На этом агрегате освоена прокатка заготовок для получения осей железнодорожного транспорта, расширен сортамент прокатываемых труб до 426 мм. Перспективно получение на этом ТПА толстостенных труб широкого сортамента для машиностроения.

В наиболее тяжелом положении оказался ТПА 200 с трехвалковым раскатным станом Ассела ПАО «Интерпайп НТЗ», который был предназначен в основном для производства подшипниковых труб. Несмотря на то, что с момента пуска в 1962 году на этом агрегате до 2000 года проводились модернизационные мероприятия с заменой основных станов, в настоящее время он нуждается в принятии стратегии его дальнейшего использования. Ближайшей перспективой может быть расширение сортамента в сторону труб малого диаметра после холодной прокатки и волочения, а также расширения сортамента профильных труб с использованием для волочения клетей с холостыми валками.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пути расширения сортамента труб на агрегате 200 ПАО «Интерпайп НТЗ» / Ю.А. Кондратьев, А.Н. Степаненко, Б.И. Тартаковский и др. Бюллетень «Черная металлургия», 2014, № 9, с. 58-65.

2 Пат. 2138348 Россия. Способ горячей прокатки бесшовных тонкостенных труб / Б.И. Тартаковский, Н.П. Рябихин, М.А. Минтаханов и др. Б.И., 1999, № 27.

3 Пат. 2308330 Россия. Упорно-регулируемый механизм трубопрокатного стана поперечно-винтовой прокатки / И.К. Тартаковский, Ю.С. Артемьев, Б.И. Тартаковский и др. Б.И., 2007, № 29.

4 Пат. 2040348 Россия. Трехвалковая клеть стана поперечно-винтовой прокатки / И.Л. Гольдштейн, Д.В. Терентьев, П.М. Финагин и др. Б.И., 1995, № 21.

Є.А. Недашківський, І.В. Баклан

МОДЕЛЬ ЧАСОВОГО РЯДУ З ФРАКТАЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

Анотація. В статті розглянута моделювання фінансових часових рядів з високою ступенем нелінійної мінливості, що часто демонструють фрактальні властивості. Розглянутий алгоритм аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальною структурою.

Ключові слова: часові ряди, фрактальна структура, прогнозування.

Постановка проблеми

Створення модифікованих моделей, що об'єднують у собі інтелектуальні та статистичні методи аналізу, та прогнозування фінансових часових рядів є актуальним завданням сьогодення в силу наявності виявлених недоліків існуючих методів у сфері сучасної економічної науки.

Інтеграція апарату нечіткої логіки та теорії детермінованого хаосу у межах лінгвістичного моделювання спонукають до розробки інноваційних підходів прогнозування фінансових часових рядів з фрактальною структурою.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Фінансові часові ряди демонструють високу ступінь нелінійної мінливості, особливо на високих частотах, і часто демонструють фрактальні властивості. Коли фрактальна розмірність часового ряду дорівнює нулю, це пов'язано з двома характерними рисами:

- фрактальні процеси виявляють неоднорідність – високу ймовірність екстремальних або віддалених коливань, як правило, з нерегулярними інтервалами;
- фрактальні процеси також демонструють симетрію експонування – пропорційність співвідношень між коливаннями на різних відстанях поділу.

Ознаки фрактальності на фінансових ринках не передбачають хаотичності поведінки, що нагадує випадковість, породжену невеликим числом детермінованих рівнянь. Фрактальність у великомас-

штабних багатовимірних системах, таких як фінансові ринки, є стохастичною [1]. Цей тип фрактальності зазвичай виникає в результаті мультиплікативних взаємодій між двома або більше стохастичними процесами.

Більша частина сучасної літератури з нелінійної мінливості [2,3,4] на фінансових ринках була заснована на дифузії волатильності з безліччю випадкових факторів. Дифузори волатильності з мультиплікативним зв'язком між стохастичними чинниками, як правило, генерують фрактальність.

На великих відстанях поділу фінансові ряди можуть моделюватися з використанням структурних рівнянь, які, як правило, не є фрактальними. У цьому сенсі доцільно охарактеризувати економічні часові ряди як прояв фрактальних властивостей на коротких горизонтах, але з асимптотичною схожістю з рівновагою. У деяких випадках базові структурні рівняння також породжують фрактальність [5].

Найбільш ясним прикладом є обмінний курс, імовірно обумовлений диференціалами в реальні ставки дохідності. Нехай X_t – це обмінний курс, I_t – це процентна ставка, e – індекс очікування, ε_t – залишкова складова фінансового часового ряду, F – іноземна валюта. Структурне рівняння має вигляд:

$$X_t = \omega_0 + \omega_1 X_{t-1} + \omega_2 [(I_t - \pi_1^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)] + \varepsilon_t$$

Як наголошується у [6], прийняття коефіцієнтів стохастичних процесів може призвести до нелінійної мінливості. На основі цього вираз $[(I_t - \pi_1^e) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^e)]$ передбачає фрактальну поведінку. Крім того, номінальні та реальні відсоткові ставки також можуть бути фрактальними, так що різниця в реальних ставках прибутковості сама по собі різниця двох незалежних фрактальних процесів..

Мета дослідження

Метою досліджень є дослідження моделей і алгоритмів для аналізу та прогнозування фінансових часових рядів з фрактальними властивостями.

Основна частина

В статті пропонується використання алгоритму прогнозування на основі двох методів:

- застосування моделі переходу станів для передбачення умовної ймовірності екстремальних подій;

- побудова моделі симетрії на коротких часових масштабах.

Методологія моделювання часового ряду базується на розкладанні тимчасового ряду на складові компоненти і моделюванні значень кожної компоненти окремо. У рамках даного дослідження пропонується застосування до кожного ряду агрегування, тобто розкладання ряду на короткі проміжки значення яких подібні за будь-якою ознакою. З точки зору математичної науки агрегування розглядається як перетворення вихідної моделі в модель з меншим числом змінних і обмежень, що дає наближений (в порівнянні з вихідним) опис досліджуваного процесу або об'єкта.

Головним фактором дослідження фрактальної структури фінансових часових рядів є знаходження фрактальних показників у рамках досліджуваного ряду. Так у роботі [7] доведено, що фрактальна розмірність близька до 1,5 ($\mu=0.5$) є справедливою лише для 15-25% фінансових часових рядів, що є незадовільним показником, решту часу поведінка рядів істотно відрізняється від броунівського руху. На думку автора, даний факт пояснюється тим, що ділянки «не нормальної» (або «аномальної») поведінки мають коротку тривалість. У той же час для перевірки на нормальність відомими методами необхідні великі масиви даних (від кількох сотень до кількох тисяч точок). В середині інтервалу, що використовується для перевірки на нормальність стандартними методами, виявиться велика кількість ділянок з різною поведінкою. При розрахунку тестових значень характеристики персистентних і антиперсистентних ділянок компенсуються і підсумкові значення виявляються близькими до нормальних.

На основі вищевикладеного припустимо, що N – кількість подій, L – характерна довжина, а D – фрактальна розмірність; зафіксуємо значення для фінансового часового ряду $D = 1$.

Імовірнісна міра розмірності визначається за формулою:

$$\left[N(|Y_t - Y_{t-1}| > L/N(|Y_t - Y_{t-1}|)) \right] / L$$
. Частка спостережень, що лежать за межами порога L щодо загальної вибірки, варіюється в залежності від:

$$\left[N(|Y_t - Y_{t-1}| > L/N(|Y_t - Y_{t-1}|)) \right] \approx L^d$$

де знаком позначається асимптотична рівність. У цьому сенсі розмірність – це міра ентропії або хаотичності.

Вимірювання змінюється в залежності від порогу, і тому часто вимірюється як асимптотична межа по мірі наближення порога до

нуля. Модифікацією даного методу виступає оцінка середньої неоднорідності процесу, за допомогою корозмірності C , результатом якої є різниця між розмірністю вкладення d та фрактальною розмірністю D :

$$C = D - d.$$

Якщо $C \neq 0$, то процес називається фрактальним.

При низьких ступенях фрактальності (близьких до нуля) процес більш однорідний: екстремальних коливань мало. І навпаки, для більш високих значень C , властиві більш екстремальні події або коливання за порогом. Процес стає менш однорідним, більш короткочасним, більш рідкісним і більш нестійким.

Відносини між корозмірністю і симетричним масштабування задаються наступними рівняннями в яких τ – це тимчасова шкала від 1 до T , де T -найбільший часовий масштаб; μ – індекс; q – ряд показників масштабування. Симетрія масштабування має вигляд:

$$\mu(|Y_t - Y_{t-1}|^q) \approx [\mu(|Y_t - Y_{t-1}|^q)] \left[(\tau/T)^{\zeta(q)} \right]$$

де ζ – функція, яка включає в себе три параметри:

$$\zeta(q) = qH - \left\{ \left[C_1 / (\alpha - 1) \right] (q^\alpha - q) \right\}, \text{ де } \alpha \neq 1$$

$$\zeta(q) = qH - (C_1 q \ln q), \text{ де } \alpha = 1$$

Параметр C_1 – кодування, пов'язане з масштабуванням засобів вибірки. Коли $C_1 = 0$, $\zeta(q)$ є лінійним трендом. Коли $C_1 \neq 0$, кривизна осі $\zeta(q)$ залежить від корозмірності і розподілу ймовірностей. Коефіцієнт α характеризує розподіл ймовірності. Випадок $\alpha = 2$ відповідає розподілу Гауса, тоді як $\alpha = 1$ відповідає розподілу Коші. Більшість економічних процесів показують . У цьому випадку розподіл має більш важкі хвости, ніж стандартна норма, і дисперсія змінюється в часі. Цікавою властивістю рядів, як , так і $0 < C_1 < 1$, є те, що інтеграція зазвичай не призводить до згладжування. Замість цього інтеграл буде показувати дискретні стрибки.

Коефіцієнт H характеризує індекс фрактальності, тобто величину яка зменшується, коли затримка між двома однаковими парами значень в часі ряду збільшується. Позначення H насправді бере початок з експонента Херста, або відкликаного коефіцієнта діапазону [8]. Проте в цих рамках H оцінюється як один з низки коефіцієнтів масштабування. Ця статистика пов'язана з порядком інтеграції

адитивної константи. Для процесу $I(0)$ $H = 0.5$. Для нестационарного процесу порядок інтеграції може бути відновлений шляхом оцінки темпів змін [9]. Цей метод надійний як для нелінійності, так і для дробових порядків інтеграції.

Ідея використання симетрії масштабування для прогнозування була спочатку запропонована у [10] для фізичних процесів, які демонструють сильні симетрії між великими і малими масштабами. Оскільки відносини пропорційності у фінансових часових рядах, як правило, обмежені короткими інтервалами, моделі тут використовують лише наближену симетрію. Для прогнозованої швидкості змін існує симетрія відносно останнього відставання:

$$(X_{t+1} - X_t) = \lambda_{1t}(X_{t+1} - X_{t-1})$$

де λ_{1t} – коефіцієнт пропорційності, числовий коефіцієнт позначає відстань поділу на ФНЗ, а t – коефіцієнт вказує на зміну часу. Аналогічним чином, для темпів змін:

$$(X_t - X_{t-1}) = \lambda_{2t}(X_t - X_{t-2})$$

рішення для λ_{2t} :

$$\lambda_{2t} = [(X_t - X_{t-1}) / (X_t - X_{t-2})]$$

Одна з практичних проблем в реалізації полягає в тому, що знаменники коефіцієнтів можуть містити нульові значення. Для обчислення відсутніх значень можна використовувати будь-яку кількість процедур інтерполяції. У разі якщо співвідношення невідзначене, дані експоненціально згладжуються, і співвідношення на основі згладжених даних замінюються. Модель прогнозування для загального процесу:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^g) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^g)] + \omega_3 \lambda_{2t} + \varepsilon_t$$

Як зазначалося вище, більшість структурних рівнянь в макроекономіці не передбачають довгострокової фрактальності. Це доводить необхідність використання структурного рівняння і побудови шкали коефіцієнтів для залишкової частини:

$$(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) = \gamma_{2t}(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-2})$$

$$\gamma_{2t} = [(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) / (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-2})]$$

де γ_{2t} – коефіцієнт пропорційності для залишку. Таким чином, модель прогнозування стає:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^g) - (I_{Ft} - \pi_{Ft}^g)] + \omega_3 \gamma_{2t} + v_t$$

де v_t – залишок від цієї регресії.

Основний недолік, пов'язаний з моделями, полягає в тому, що коефіцієнти шкали відомі тільки для поточного періоду. Крім того, в ході практичних випробувань коефіцієнти шкали часто були визнані занадто нестабільними для ефективного прогнозування. Розумним рішенням є коефіцієнт масштабування у дві компоненти, систематичний процес і залишок [11]. Нехай γ_{2st} позначає системну компоненту у γ_{2t} . Як правило, прогнозист не знає форми цієї компоненти, але може оцінити її за допомогою регресії по лагах [12]:

$$\gamma_{2st} = \omega_0 + \omega_1 \gamma_{2t-1} + \omega_2 \gamma_{2t-2} + v_t$$

Прогнозоване значення, γ_{2st+1} , потім включається в рівняння прогнозування. Отримуємо:

$$X_{t+1} = \omega_0 + \omega_1 X_t + \omega_2 [(I_t - \pi_t^e) - (I_{Et} - \pi_{Et}^e)] + \omega_3 \gamma_{2st+1} + v_t$$

Оцінка фрактальних параметрів заснована на масштабуванні логічних засобів абсолютних логічних різниць щодо збільшення відстаней поділу [13]. По суті, це зв'язок між симетрією масштабування і функцією $\zeta(q)$. Індекс фрактальності є локальною фрактальною характеристикою фінансового часового ряду. На основі описаних методів аналізу та прогнозування будується загальний спосіб аналізу який проектується на формування програмного додатку.

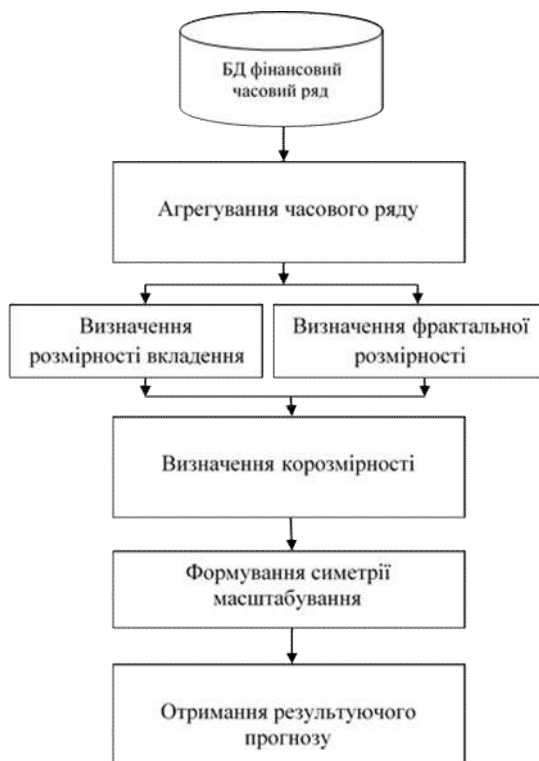


Рисунок 1 – Структурна схема реалізації загального способу аналізу та прогнозування фінансового часового ряду за допомогою лінгвістичного моделювання

У межах дослідження запропоновано спосіб аналізу та прогнозування фінансового часового ряду за допомогою лінгвістичного моделювання, який передбачає масштабування часового ряду та виділення співрозмірності.

Загальний спосіб аналізу та прогнозування фінансового часового ряду за допомогою лінгвістичного моделювання є можливість описати у кілька кроків, які виконуються у межах шести етапів, узагальнена схема виконання яких наведена на рис. 1.

Перший етап – Використання статистичних методів і візуалізація для попереднього аналізу фінансового часового ряду на предмет виявлення наявності або відсутності важких хвостів, трендів, циклічних або сезонних компонент і ін..

Другий етап – Агрегування фінансового часового ряду, з метою укрупнення економічних показників шляхом їх об'єднання в групу. Агреговані показники представляють узагальнені, синтетичні вимірники, які поєднують в одному загальному показнику.

Третій етап – Фрактальний аналіз фінансового часового ряду з метою встановлення в ньому таких характеристик і тенденцій, як трендовість або, навпаки, хаотичність, персистентність або антиперсистентність. Обчислювальна частина фрактального аналізу базується на визначенні співрозмірності. Оцінки, одержувані на виході цього етапу, мають числову природу.

Четвертий етап – Формування симетрії масштабування фінансового часового ряду. Виявлення симетрії повороту, зсуву і масштабування у числових послідовностях фінансових рядів, з метою отримання числових показників перетворень, а також оцінки ступеня порушення симетрії.

П'ятий етап – Формування прогнозу для розглянутих фінансових часових рядів шляхом реалізації обчислень на базі побудованого алгоритму.

Шостий етап – Оцінка похибки отриманого прогнозу для розглянутих фінансових часових рядів.

Розроблений алгоритм підлягає реалізації на базі програмного продукту, розробка якого передбачається у подальшому.

Висновки

Запропоновано модель фінансового часового ряду. За базову модель, яка підлягає аналізу та прогнозуванню обрано дані обмінного

курсу, як прояв фрактальних властивостей на коротких горизонтах, але з асимптотичною схожістю з рівновагою. Визначено спосіб аналізу та прогнозування фінансового часового ряду за допомогою лінгвістичного моделювання, який передбачає масштабування часового ряду та виділення співрозмірності. Агрегування фінансового часового ряду, здійснюється з метою укрупнення економічних показників шляхом їх об'єднання в групу. Формування симетрії масштабування фінансового часового ряду виробляється з метою отримання числових показників перетворень, а також оцінки ступеня порушення симетрії. Особливості запропонованого способу дозволяють аналізувати та прогнозувати фінансові часові ряди в умовах, коли існуючі методи, які використовують окремо апарат математичної статистики або інформаційних технологій, виявляються малоефективними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Светлов Кирилл Владимирович. Стохастические методы анализа рынка заимствований: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.13 / Светлов Кирилл Владимирович; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет"]. - Санкт-Петербург, 2016.- 143 с.
2. Люю Ю. Методы и алгоритмы финансовой математики. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. — 751 с.
3. Бородин А. Н. Случайные процессы. — СПб.: Лань, 2012. — 640 с.
4. Gibson R., Lhabitant F., Talay D. Modeling the term structure of interest rates: A review of the literature // Foundations and Trends in Finance. — 2010. — Vol. 5, no. 1-2
5. Ярушкина, Н.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: Учебное пособие / Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. — Ульяновск: УлГТУ, 2010 — 324 с
6. Mandelbrot B. 1997. Fractals and Scaling in Finance. Springer: New York.
7. Старченко, Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов. [Текст]: дис. канд.. физ-мат. наук: 01.01.03: защищена 15.02.2006 / Старченко Николай Викторович
8. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы / Б. Мандельброт. — М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004.
9. Atkins P.W., Beran J.A. General Chemistry, N.Y.: Scientific American Books, 1992, 922 p.
10. Schertzer D, Lovejoy S, Schmitt F, Chigirinskaya Y, Marsan D. 1997. Multifractal cascade dynamics and turbulent intermittency. Fractals 5:427–471
11. Лукашин Ю.П. О возможности краткосрочного прогнозирования курсов валют с помощью простейших статистических моделей / Ю.П. Лукашин // Вестник МГУ. - 1990. - Сер. 6. Экономика. - № 1. - С. 75-84.
12. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. — М.: Интернет-трейдинг, 2004], 98 Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. — М.: Мир, 2000.
13. Перцовский О.Е. Моделирование валютных рынков на основе процессов с длинной памятью / О.Е. Перцовский-М.: ГУ ВШЭ, 2004

В.Є. Бахрушин

РОЗПОДІЛ БЮДЖЕТНОГО ФІНАНСУВАННЯ У ВИЩІЙ ОСВІТІ, ЯК ПРОБЛЕМА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Анотація. Розглянуто питання, що виникають у зв'язку із змінами механізму бюджетного фінансування закладів вищої освіти. Показано, що новий механізм призводить до необхідності розв'язувати задачу багатокритеріального прийняття рішень. Для цього потрібно застосовувати відомі підходи та методи розв'язування таких задач.

Ключові слова: вища освіта, бюджетне фінансування, багатокритеріальне прийняття рішень, якість вищої освіти, критерії ефективності, оптимізація.

Вступ

Вже декілька років обговорюються нові підходи до фінансування вищої освіти, спрямовані на підвищення його ефективності. Наприкінці минулого року до Бюджетного кодексу України було внесено зміни [1], які передбачають, що що «обсяг видатків державного бюджету на вищу освіту розподіляється між вищими навчальними закладами на основі формули, яка ... має враховувати, зокрема, такі параметри: кількість здобувачів вищої освіти за освітньо-кваліфікаційними рівнями та спеціальностями і співвідношення вартості освітніх послуг; рівень результатів зовнішнього незалежного оцінювання вступників; показники якості освітньої і наукової діяльності вищого навчального закладу».

З погляду розподілу бюджету таку формулу можна розглядати як цільову функцію задачі багатовимірної умовної оптимізації, яка має максимізувати певний інтегральний показник ефективності бюджетних витрат на вищу освіту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації часто передбачає визначення цільових функцій (критеріїв) та способу їх пе-

ретворення на єдиний суперкритерій [2], який будують у вигляді лінійної згортки окремих критеріїв:

$$I = \sum_{k=1}^n \alpha_k I_k,$$

де α_k , I_k – відповідно, ваговий коефіцієнт та значення k -го окремого критерію, n – їх загальна кількість, $\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1$.

Такий підхід вимагає, щоб окремі критерії мали один і той самий діапазон змінювання, були рівноважливими та задовольняли ще низку умов. За наявності багатьох критеріїв всі вимоги зазвичай важко виконати, і менш важливі критерії перетворюють на обмеження. Вагові коефіцієнти, як правило, визначають шляхом експертного оцінювання. Крім того, іноді одержувані за цим методом розв'язки є нелогічними [3]. Особливістю задачі розподілу бюджетного фінансування є відсутність чіткого розуміння змістової інтерпретації суперкритерію, а також теоретично обґрунтованих або перевірених на практиці моделей, які б пов'язували вимірювані показники зі значеннями критеріїв. Також завжди є певні похибки у значеннях первинних показників. Тому сформульовану задачу можна розглядати і як задачу прийняття рішень в умовах невизначеності.

Відомі різні моделі розподілу бюджетного фінансування закладів вищої освіти [4 – 6]. Одна з них передбачає укладання угоди між університетом та Урядом, за якою Уряд надає певне фінансування, а університет бере на себе певні зобов'язання стосовно результатів освітньої та наукової діяльності. Інший поширений підхід передбачає, що загальний обсяг фінансування розподіляється за декількома блоками. Перший – це фінансування, яке розраховують на основі об'єктивно зумовлених витрат, які оцінюють через кількість студентів, що навчаються за програмами різного рівня, площу та деякі інші характеристики, що напряму не пов'язані з результатами діяльності. Зазвичай так розподіляють 60 – 80% від загального обсягу фінансування. Іноді роблять простіше і беруть відповідний відсоток від витрат попереднього періоду. Ще 10 – 30% фінансування розподіляють на основі показників, які відображають результативність і якість освітньої та наукової діяльності університету. Іноді ще 5 – 15% загального обсягу розподіляють на конкурсній основі на реалізацію конкретних освітніх проектів.

Н. Хіллман [7] зазначає, що моделі фінансування, які базуються на показниках результативності добре працюють у відносно простих ситуаціях, коли цілі однозначно задані і результати легко вимірюються. Втім, сучасні моделі фінансування за результатами не передбачають оцінювання університетів за якимось єдиним показником. Вони належать до моделей багатовимірного оцінювання, поширених при оцінюванні складних, зокрема і освітніх систем. Прикладом таких задач є прийняття рішень щодо відбору абітурієнтів за результатами ЗНО [8]. Тому, основні проблеми їх застосування полягають не у спрощеності, а у забезпеченні відповідності суперкритерію та окремих критеріїв поставленим цілям, а також надійності використовуваних первинних даних.

Задача оптимального розподілу бюджетного фінансування та можливі варіанти її розв'язання

Виходячи з вимог Бюджетного кодексу і досвіду європейських країн, загальний обсяг фінансування вищої освіти може бути подано у вигляді суми трьох незалежних доданків:

$$F = F_S + F_Q + F,$$

де F_S (75 – 80% від загального обсягу фінансування) – input-показники, які, зокрема, враховують кількість здобувачів вищої освіти за освітньо-кваліфікаційними рівнями та спеціальностями та вартість освітніх послуг;

F_Q (10 – 15% від загального обсягу фінансування) – output-показники, які, зокрема, враховують рівень результатів зовнішнього незалежного оцінювання вступників та показники якості освітньої і наукової діяльності вищого навчального закладу;

F_I (5 – 10% від загального обсягу) – фінансування, що розподіляється на конкурсній основі на виконання конкретних проектів з енергоефективності, оновлення лабораторної бази, впровадження інновацій тощо.

З погляду оптимізації бюджетних витрат першій доданок відповідає оптимізації собівартості навчання, другий – стимулюванню якісної освітньої та наукової діяльності, а третій – оптимізації фінансування, спрямованого на покращення системи вищої освіти загалом.

На першому етапі, виходячи із загального обсягу фінансування вищої освіти, передбаченого законом України „Про державний бюд-

жет” і встановлених КМУ або МОН співвідношень між доданками, можна визначити загальні обсяги витрат за кожним складником, тобто значення FS, FQ та FI.

Перший доданок є сумою двох складників:

$$F_S = F_{S1} + F_{S2},$$

де:

$$F_{S1} = f \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_j st_{ij} = f \cdot \sum_{j=1}^m k_j \sum_{i=1}^n st_{ij},$$

f – встановлений державою мінімальний обсяг фінансування у розрахунку на одного студента;

k_j – коефіцієнт підвищення мінімального обсягу фінансування для j -ої спеціальності;

st_{ij} – кількість студентів, що навчаються в i -му ЗВО за j -ою спеціальністю, які на конкурсній основі отримали право вчитися за бюджетні кошти;

n – кількість ЗВО, що отримують бюджетне фінансування;

m – кількість спеціальностей, за якими надається бюджетне фінансування;

$FS2$ – доданок, що враховує комунальні витрати попереднього періоду з урахуванням індексу цін, нормативів витрат та зміни частки здобувачів освіти, що навчаються за кошти державного бюджету. Також він може враховувати інші показники об’єктивно зумовлених витрат ЗВО.

Спочатку можна розрахувати значення $FS2$. У найпростішому випадку:

$$F_{S2} = \sum_{i=1}^n \left(Np_i \cdot \sum_u norp_u + S_i \cdot \sum_v nors_v \right),$$

де Np_i – приведена кількість учасників освітнього процесу (науково-педагогічні працівники, адміністративний і допоміжний персонал, студенти) в i -му закладі вищої освіти, $norpu$ – u -ий норматив фінансування у розрахунку на одну особу; u – кількість нормативів, що задаються у розрахунку на одну особу; S_i – приведена загальна площа i -го закладу вищої освіти; $norsv$ – v -ий норматив, що задається у розрахунку на одиницю площі; v – кількість нормативів, що задаються у розрахунку на одиницю площі. Більш реалістична

модель може передбачати деталізацію нормативів витрат за категоріями учасників освітнього процесу та іншими ознаками.

Після цього можна визначити значення

$$F_{S1} = F_S - F_{S1}.$$

Наступним етапом є розподіл фінансування FS1 між закладами вищої освіти. Для цього треба задати початкові значення параметрів f^* , k_j^* , st_{ij}^* , які можуть бути визначені експертним шляхом, і розрахувати величину

$$F_{S1}^* = f^* \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_j^* st_{ij}^* = f^* \cdot \sum_{j=1}^m k_j^* \sum_{i=1}^n st_{ij}^*$$

Далі параметри f^* , k_j^* , $\sum_{i=1}^n st_{ij}^*$ треба підбирати так, щоб була

виконана рівність $F_{S1}^* = F_{S1}$.

У найпростішому випадку цього можна досягти підбором величини мінімального обсягу фінансування у розрахунку на одного студента f^* .

Доданок FQ розраховується за формулою:

$$F_Q = b \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^{\ell} c_q qu_{iq} = \sum_{q=1}^{\ell} c_q \sum_{i=1}^n qu_{iq},$$

де:

b – нормувальний коефіцієнт, який використовується для забезпечення рівності FQ нормативно встановленому значенню

$$(b = F_{Qnorm} / \sum_{q=1}^{\ell} c_q \sum_{i=1}^n qu_{iq});$$

qu_{iq} – значення q -го показника якості для i -го ЗВО;

c_q – ваговий коефіцієнт q -го показника якості.

Значення показників якості варто в нормувати так, щоб вони мали однаковий діапазон змінювання. Наприклад, від нуля до одиниці. Для вагових коефіцієнтів доцільно застосувати умови:

$$0 < c_q < 1; \sum_{q=1}^{\ell} c_q = 1.$$

Як показники рівня результатів зовнішнього незалежного оцінювання вступників можна використовувати:

- а) середній конкурсний бал;
- б) медіанний бал;

в) співвідношення кількості абітурієнтів, конкурсний бал яких перевищує 170-175, і кількості абітурієнтів, конкурсний бал яких менше, ніж 125-130.

Ці величини можуть бути розраховані за даними системи «Конкурс» для абітурієнтів, зарахованих на програми освітнього рівня бакалавр (магістр в галузях знань охорона здоров'я, право) на навчання за кошти державного бюджету, фізичних та юридичних осіб (без урахування абітурієнтів, які були зараховані за квотами, та абітурієнтів, що складали вступні випробування у закладі вищої освіти).

Недоліком всіх цих показників є те, що вони можуть стимулювати університети відмовлятися від прийому на інженерні, природничі, педагогічні та деякі інші спеціальності, де традиційно бали зарахованих абітурієнтів є значно меншими за середній рівень (цей негативний вплив може бути перекритий збільшенням обсягів бюджетного фінансування у розрахунку на одного студента цих спеціальностей). Середній бал, крім того, для багатьох закладів вищої освіти не буде інформативним показником через високу асиметрію розподілу конкурсних балів зарахованих абітурієнтів.

Альтернативою є інший показник – відношення W кількості абітурієнтів, що потрапили до 25-30% кращих серед зарахованих на відповідні спеціальності (галузі знань), до кількості абітурієнтів, які опинилися серед 25-30% гірших із зарахованих на ці спеціальності абітурієнтів. Цей показник легко нормувати так, щоб він набував значень у заданому діапазоні: наприклад, від 0 до 1.

Як показники якості освітньої і наукової діяльності можна взяти індикатори, що характеризують вартість навчання за кошти фізичних і юридичних осіб, а також інші показники, які використовувалися у 2017 р. для розподілу державного замовлення на підготовку магістрів. Врахування вартості навчання в наших умовах є актуальним через те, що багато закладів вищої освіти встановлюють демпінгові ціни, що негативно впливає на якість освіти.

Висновки

Передбачену новою редакцією Бюджетного кодексу України формулу розподілу бюджетного фінансування закладів вищої освіти можна розглядати як розв'язок задачі багатокритеріального прийняття рішень. Але потребує уточнення розуміння змісту інтегрального

критерію ефективності, що необхідно для застосування об'єктивних методів вибору показників та вагових коефіцієнтів. Запропоновано можливі варіанти окремих показників формули, передбаченої Бюджетним кодексом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про внесення змін до Бюджетного кодексу України». <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2233-19>.
2. Волошин, О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко.– К. : Видавничо - поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
3. Velasquez M., Hester P.T. An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. International Journal of Operations Research, 2013. Vol. 10, No. 2, 56-66
4. Pruvot T.B., Claeys-Kulik A-L., Estermann T. Designing strategies for efficient funding of higher education in Europe. European University Association, 2015, 105 p.
5. Performance-Based Funding.
<http://cou.on.ca/wp-content/uploads/2013/12/COU-Background-Paper-Performance-Based-Funding.pdf>.
6. Miller T. Higher Education Outcomes-Based Funding Models And Academic Quality. RAND, 2016, 17 p.
<https://www.luminafoundation.org/files/resources/ensuring-quality-1.pdf>.
7. Hillman N. Why Performance-Based College Funding Doesn't Work.
<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/production.tcf.org/app/uploads/2016/05/24182205/Why-Performance-Based-Funding-Doesnt-Work.pdf>.
8. Бахрушин В.Є., Бахрушин А.В. Застосування методів багатокритеріального прийняття рішень при відборі абітурієнтів. Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер. : Технічні науки. - 2014. - Вип. 10. - С. 5-14.

И.И. Жульковская, О.А. Жульковский

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Повышение точности арифметических операций за счет увеличения разрядности чисел является основным средством выполнения расчетов, критичных к округлениям. Проведенное исследование показывает возможности современных процессоров общего назначения и компиляторов языков высокого уровня поддерживать форматы повышенной точности для повышения эффективности математического моделирования в целом.

Ключевые слова: число с плавающей запятой, стандарт IEEE 754, формат представления, граничные значения, абсолютная погрешность вычисления.

Постановка проблемы

Решение современных задач, формализованных в виде математических моделей, требует крайне сложных вычислений над огромными массивами данных, обработка которых содержит значительное число итераций. При этом точность машинных вычислений становится неудовлетворительной, а вычислительная погрешность определяет основную долю ошибки в получаемом решении. Одним из источников вычислительных погрешностей является приближенное представление действительных чисел в ЭВМ, обусловленное конечностью разрядной сетки.

Анализ публикаций по теме исследования

Действительные данные в памяти вычислительной системы представлены в формате с плавающей запятой (точкой) в соответствии со стандартом IEEE Std 754–2008 (ISO/IEC/IEEE 60559:2011).

Авторы многих публикаций [1, 2 и др.] предлагают различные подходы к стандартизации математических функций, работающих с числами с плавающей запятой в форматах IEEE 754. Наряду с этим, множество работ посвящено тестированию на соответствие стандарту [2–4], вопросам погрешностей результатов при вычислении функций

[5]. Авторами настоящей работы ранее исследован и описан алгоритм современного подхода к формированию машинного представления и хранения числовой информации в формате с плавающей запятой, рассмотрены особенности представления, а также вычислены граничные (максимальные и минимальные) значения субнормальных и нормализованных чисел [6, 7 и др.].

Формулировка целей статьи

Целью настоящего исследования является повышение достоверности результатов моделирования на основе оценки современных, наиболее часто используемых аппаратных и программных средств на предмет получения наибольшей точности вычислений и снижения погрешностей, обусловленных представлением действительных данных в памяти компьютера.

Основная часть

Как известно, значение двоичного числа с плавающей запятой определяется выражением:

$$A = \pm a_0.a_1a_2a_3...a_{n-1} \times S^e \quad (1)$$

где S – основа системы счисления; n – число значащих разрядов мантиссы; a_i – цифры ($0 \leq a_i < S$); e – порядок или экспонента (не путать с числом e).

Стандарт IEEE 754 определяет основные параметры форматов представления чисел с плавающей запятой (табл.1).

Таблица 1

Параметры основных двоичных форматов чисел с плавающей запятой

формат	всего бит	бит в порядке	бит в мантиссе	смещение порядка
binary32 single	32	8	23	127
binary64 double	64	11	52	1023
binary128 quadruple	128	15	112	16383

В работе [5] описано машинное представление граничных (максимальных и минимальных) значений чисел с плавающей запятой в стандарте IEEE 754, получены формулы для вычисления и рассчитаны граничные значения для различных форматов этого стандарта (табл.2).

Граничные значения нормализованных чисел с плавающей запятой

формат	Максимальное значение	Минимальное значение
binary32	$\pm 3.402823E + 38$	$\pm 1.175494E - 38$
binary64	$\pm 1.797693E + 308$	$\pm 2.225073E - 308$
binary128	$\pm 1.189731E + 4932$	$\pm 3.362103E - 4932$

Особенность представления действительных чисел со скрытой единицей заключается в том, что имеется довольно большой разрыв между нулем и ближайшим к нему представимым числом – потеря значимости (underflow) около нуля. Это обстоятельство может приводить к ошибкам при работе с малыми величинами.

Для повышения точности вычислений при работе с «маленькими» числами в стандарте предусмотрена возможность использования т.н. субнормальных (subnormal numbers), т.е. ненормализованных чисел. Использование денормализованных чисел - это способ увеличить количество представимых чисел с плавающей запятой для повышения точности вычислений.

Описание машинного представления и особенностей использования субнормальных чисел в стандарте IEEE 754, а также получение формул для вычисления и сам расчет граничных значений (максимальных и минимальных) субнормальных чисел для различных форматов (табл.3) рассмотрены авторами данной статьи в работе [8].

Таблица 3

Граничные значения субнормальных чисел с плавающей запятой

формат	Максимальное значение	Минимальное значение
binary32	$\pm 1.175494E - 38$	$\pm 1.401298E - 45$
binary64	$\pm 2.225073E - 308$	$\pm 4.940656E - 324$
binary128	$\pm 3.362103E - 4932$	$\pm 6.475175E - 4966$

Представимые в формате с плавающей запятой числа должны быть двоично-рациональными, т.е. должны иметь вид $p / 2^m$, где p и m – целые числа, причем m неотрицательно. Только в этом случае число представляется в формате с плавающей запятой без округления и, соответственно, без потери точности. Остальные же числа представлены приближенно, т.е. они округляются до точно представимых в формате с плавающей запятой чисел.

Основным показателем качества машинной арифметики с плавающей запятой считается точность (ассигасу), с которой арифметика округляет действительные числа. Чем больше расстояние от исходного числа до ближайшего представимого, тем с меньшей точностью оно может быть представлено. Расстояние между соседними представимыми числами, т.е. числами с единым десятичным значением порядка и с различающимися в один бит мантиссами, называют шагом числа. Следовательно, максимальная абсолютная погрешность округления для числа в формате IEEE 754 равна половине шага, а вычисленный результат отличается от точного значения не более чем на половину единицы последнего разряда мантиссы результата (unit in the last place, ulp) [8]. Шаг чисел удваивается с увеличением экспоненты двоичного числа на единицу. Т.е. чем дальше от нуля, тем шире шаг чисел в формате IEEE 754 по числовой оси.

Авторами настоящей работы рассмотрены [9] особенности стандартных способов округления чисел с плавающей запятой при вычислениях на компьютере и получены выражения для вычисления максимальных абсолютных погрешностей округления чисел, представленных в базовых форматах стандарта IEEE 754 (табл.4).

Таблица 4

Выражения для вычисления максимальных абсолютных погрешностей округления чисел базовых форматов стандарта IEEE

формат	субнормальные числа	нормализованные числа
binary32	2^{-150}	2^{E-151}
binary64	2^{-1075}	2^{E-1076}
binary128	2^{-16495}	$2^{E-16496}$

Из всех вышеприведенных таблиц ясно видно, что для получения наиболее точного результата вычислений необходимо использовать формат четырехкратной точности (quadruple precision).

Аппаратная поддержка binary128 чрезвычайно редка, например в z/Architecture и POWER9; в SPARC V8 и V9 заявлена, но реальная аппаратная поддержка отсутствует.

Авторами работы проведено исследование современных аппаратных и программных средств, обеспечивающих реализацию алгоритмов численного экспериментирования, отличающихся повышенной точностью получаемых результатов. Установлено [10], что наиболее популярные при математическом моделировании языки програм-

мирования C/C++ согласно стандарту предоставляют три типа с плавающей запятой: float, double и long double.

Типы float и double практически всюду соответствуют binary32 и binary64 стандарта IEEE 754. Тип long double менее однозначен. Для x86/x86_64 в компиляторах GCC и Clang он по умолчанию соответствует 80-битному расширенному формату Intel x87. Для Visual Studio (начиная с 32-битных версий) и ICC он физически соответствует тому же типу что и double, хотя логически является самостоятельным типом (в Visual Studio поддержка 80-битного расширенного типа присутствовала в 16-битных версиях). Для ICC под Windows можно воспользоваться флагом /Qlong-double, который меняет long double на 80-битный x87 (тип занимает 16 байт из соображений выравнивания).

Размер типа long double в смысле значения sizeof(long double) для 80-битного типа x87 типично не равен 10 байтам из соображений выравнивания – реальные значения обычно равны 12 или 16 байт. Для GCC это значение можно изменить соответствующими опциями компиляции. Неиспользуемые байты при этом имеют произвольные значения.

На некоторых платформах long double означает binary128 либо использует пару 64-битных действительных чисел для достижения 106-битной точности, но с диапазоном обычного double. На многих платформах (в частности x86/x86_64) GCC по умолчанию поддерживает (предоставляет в качестве расширения) нестандартный тип __float128 (а также __float80). Реализация этого типа (на архитектурах, не поддерживающих binary128) – программная и, соответственно, «медленная». В некоторых версиях ICC есть поддержка 128-битного типа с плавающей запятой _Quad.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Т.к. действительные числа – это бесконечное множество, в то время как их машинная реализация числами с плавающей запятой представляет собой конечное множество, то для создания корректных программ, а также минимизации ошибок вычислений, важно понимать особенности представления и хранения в ЭВМ граничных значений таких чисел.

Для современных цифровых вычислительных систем очень важной проблемой является ограниченная размерная сетка, используемая для представления данных. Это, в свою очередь, приводит к

дополнительной погрешности результатов вычисления, которая может оказаться соизмеримой с величиной исходных данных.

Проведенное исследование показывает возможности современных процессоров общего назначения и компиляторов языков высокого уровня поддерживать форматы повышенной точности для повышения эффективности математического моделирования в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Some Notes for a Proposal for Elementary Function Implementation in Floating-Point Arithmetic / G. Hanrot, V. Lefevre, J.-M.Muller, N. Revol and other // Proc. of Workshop IEEE 754 and Arithmetic Standardization, in ARITH-15.– 2001.

2. Proposal for a standardization of mathematical function implementation in floating-point arithmetic / D. Defour, G. Hanrot, V. Lefevre, J.-M.Muller and other // Numerical Algorithms.– 2004.– №37(1–4).– P.367–375.

3. A Test Generation Framework for Datapath Floating-Point Verification / M. Aharoni, S. Asaf, L. Fournier, A. Koifman and other // IEEE International High Level Design Validation and Test Workshop.– 2003.– P.17–22.

4. Stehle D. Searching Worst Cases of a One-Variable Function Using Lattice Reduction / D.Stehle, V.Lefevre, P. Zimmermann // IEEE Transactions on Computers.– 2005.– №54(3).– P.340–346.

5. Никонов О.Я. Оценка точности вычислений специальных функций при разработке компьютерных программ математического моделирования / О.Я.Никонов, О.В.Мнушка, В.М.Савченко // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання.– Харків: НТУ.– 2011.– №17.– С.115-121.

6. Жульковская И.И. Вычисление граничных значений субнормальных чисел в IEEE-стандарте / И.И.Жульковская, О.А.Жульковский, Р.Г.Шаганенко // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ: ДДТУ.– 2015.– №1 (32).– С.41-44.

7. Жульковская И.И. Вычисление граничных значений действительных числовых данных в IEEE-стандарте / И.И.Жульковская, О.А.Жульковский, Ю.В.Николаенко // Зб. наук. праць ДДТУ (технічні науки).– Дніпродзержинськ, ДДТУ.– 2015.–№.1 (26).– С.240-245.

8. Goldberg D. What Every Computer Scientist Should Know about Floating-Point Arithmetic / D. Goldberg // ACM Computing Surveys.– 1991.– №.23(1).– P.5-48.

9. Жульковская И.И., Жульковский О.А. Вычисление максимальных абсолютных погрешностей округления чисел в IEEE-стандарте / И.И.Жульковская, О.А.Жульковский // Математичне моделювання.– 2015.– №2 (33).– С.33-36.

10. Жульковская И.И. Современные средства аппаратной и программной поддержки IEEE-стандарта / И.И.Жульковская, О.А.Жульковский, А.Д.Журавский // Математичне моделювання.– Кам'янське: ДДТУ, 2017.– №1 (36).– С.3-6.

А.О. Журба, Д.І. Журба

ФРАКТАЛЬНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ПОВЕРХОНЬ

Анотація. В рамках статті розроблено та програмно реалізовано метод фрактальної сегментації зображень за допомогою групування сегментів з подібною локальною фрактальною розмірністю та відображення їх окремим кольором.

Ключові слова: фрактальні об'єкти, фрактальна розмірність, локальна та глобальна фрактальна розмірність, фрактальна сегментація.

Вступ

Відомо, що більшість природних структур, які сьогодні широко досліджуються за допомогою комп'ютерних наук мають складну фрактальну структуру. Фрактальний аналіз таких структур використовується для моделювання, дослідження і пояснення властивостей поверхонь і структур складних об'єктів у різних областях науки і техніки.

До поверхонь і структур, що проявляють фрактальні властивості відносять різноманітні металеві матеріали, природні ресурсоутворення, такі як кристали, ландшафтні поверхні, структури металів та ін. У зв'язку з цим доцільним є дослідження цих структур фрактальними методами.

До фрактальних методів дослідження природних поверхонь можна віднести фрактальну сегментацію зображення, за допомогою якої можна оцінити значення локальної фрактальної розмірності будь-якої частини зображення.

Метою цієї роботи є розробка та реалізація методу фрактальної сегментації зображень для дослідження природних об'єктів та покриттів.

Матеріали та методики дослідження

Для реалізації методу фрактальної сегментації необхідно вирішити наступні задачі:

© Журба А.О., Журба Д.І., 2018

- обчислювати фрактальну розмірність зображень;
- обчислювати локальні фрактальні розмірності з використанням “ковзаючого вікна”;
- проводити фрактальну сегментацію зображень, групуючи сегменти з подібною фрактальною розмірністю за допомогою відображення їх кольором.

Фрактальна розмірність - це кількісна характеристика, що описує фрактал. Фрактальна розмірність являє собою міру розбивки об'єкта на частини розміру r з подальшим підрахунком числа частин, що покривають досліджуваний об'єкт. Для обчислення фрактальної розмірності об'єктів, у роботі було реалізовано метод box-counting [1]. Метод застосовується для зображення будь-якої структури на площині. Цей метод дозволяє визначити фрактальну розмірність не строго самоподібних об'єктів.

При фрактальному аналізі структур і поверхонь розрізняють глобальну та локальні фрактальні розмірності. Під глобальною фрактальною розмірністю мають на увазі розмірність всього зображення, а за локальні фрактальні розмірності приймають розмірності різних фрагментів зображення. Фрактальна розмірність кожного фрагменту буде різною і відрізнятиметься від розмірності всього зображення (рис. 1).

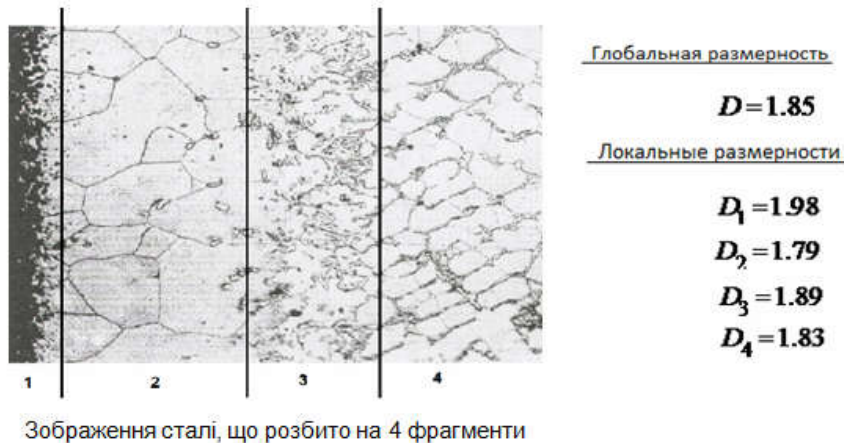


Рисунок 1 - Глобальна і локальні фрактальні розмірності зображення

Сильна залежність величини фрактальної розмірності від фрагменту зображення перешкоджає об'єктивній оцінці розмірності. Для вирішення цієї проблеми необхідно розділити зображення на малі фрагменти і в цих фрагментах оцінювати локальні фрактальні розмірності. Якщо фрагменти знаходяться на зображенні фрактала,

що має однакову розмірність, то і загальна оцінка розмірності по цих фрагментах залишиться незмінною.

При визначенні локальної розмірності виникає питання про розмір фрагментів зображення. В ході досліджень виявлено, що цей розмір повинен бути не більше, ніж передбачувані розміри аналізованих елементів зображення. Але якщо розмір фрагмента вибрати близьким розміру досліджуваного елементу, то можливий випадок, при якому тільки частина елементу опиниться в межах одного фрагмента, а інша частина опиниться в межах іншого фрагмента. Це призведе до спотворення оцінки розмірності, оскільки окрім фрактального зображення до області аналізу потрапить і фон, розмірність якого інша. Тому необхідно вибирати розміри фрагментів або вікон свідомо малими, близькими до розмірів мінімальних елементів очікуваного фрактального рисунку.

Якщо зображення складається з декількох складових, частина з яких при масштабі більшому деякого числа, стає точками, інші ж частини на цьому масштабі залишаються множинами, то при визначенні фрактальної розмірності виникають труднощі. Якщо ігнорувати масштаби при оцінці глобальної фрактальної розмірності такого зображення, то обчислена фрактальна розмірність може бути некоректною, спотвореною, оскільки частина ділянок зображення виявиться непроаналізованою.

Тому для визначення локальних розмірностей використовується метод ковзаючого вікна, який полягає у визначенні фрактальної розмірності в межах вікна, розмір якого можна задавати довільно. Вікно попиксельно переміщується по зображенню. При цьому на кожному кроці обчислюється фрактальна розмірність зображення, що потрапило у ковзаюче вікно. Розмір вікна залежить від масштабу δ і розраховується із співвідношення $2\delta + 1$. Після отримання локальних фрактальних розмірностей проводиться побудова їх емпіричного розподілу ймовірностей $W(D) / W \max(D)$. Проведені дослідження показали [1, 2], що розмір ковзаючого вікна повинен задовольняти виразу $2^N - 1$, що відповідає масштабу $\delta = 1, 3, 7, 15$ і т.д. Тому для побудови фрактальних розподілень зображень у роботі було обрано масштаб $\delta = 7$ з розміром ковзаючого вікна 15×15 пікселів.

Сегментація - це процес розділення цифрового зображення на декілька сегментів. Мета сегментації полягає у спрощенні і/або зміні

представлення зображення для полегшення його аналізу. Сегментацію зображень зазвичай використовують для виділення об'єктів та меж (лінії, криві, і т. д.) на зображеннях. В результаті сегментації кожному пікселю зображення призначається така мітка, що пікселі з однаковими мітками мають спільні візуальні характеристики.

Фрактальна сегментація зображення – це процес розділення цифрового зображення на сегменти, які мають однакові або близькі значення фрактальної розмірності. Фрактальна сегментація дозволяє виділити на зображенні об'єкти, що мають однакові фрактальні властивості [3].

Для фрактальної сегментації зображень було запропоновано та реалізовано наступний метод:

Обчислюються локальні фрактальні розмірності зображення з розміром ковзаючого вікна, що відповідає масштабу δ від 3 до 19 і т.д. (в залежності від розміру зображення, в середньому розмір вікна 15x15 пікселів).

Фрагментам зображення, що мають однакові локальні фрактальні розмірності присвоюють однаковий колір.

Метод фрактальної сегментації реалізовано двома способами: перший виконує сегментацію зеленим градієнтом, де фрактальна розмірність сегменту 0 – це зелений колір, а 2 – чорний; та другий метод, який використовує спектр кольорів RGB, починаючи з червоного (255, 0, 0), який відповідає фрактальній розмірності рівній 0, та закінчуючи синім (0, 0, 255), який у свою чергу відповідає розмірності рівній 2. Зміну, відповідно до спектру кольорів, можна побачити на рис. 2. Спосіб сегментації зеленим градієнтом має жорсткий перехід між градацією кольору. Градацію зеленого кольору було обрано тому, що людське око може відрізнити найбільшу кількість відтінків зеленого кольору серед усіх.

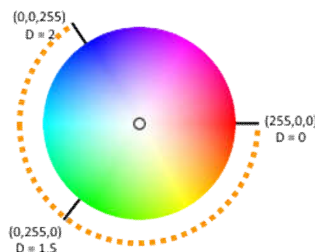


Рисунок 2 - Кольоровий спектр RGB
для локальних фрактальних розмірностей

На рис.3 наведено порівняння результатів фрактальної сегментації для різних способів відображення: рис. 3а – початкове зображення; рис. 3б – сегментація зеленим градієнтом; рис. 3в – сегментація спектром кольорів RGB.

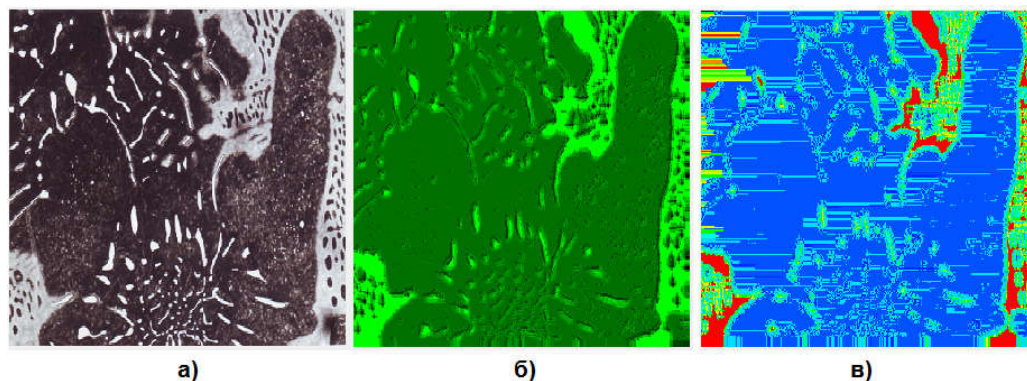


Рисунок 3 - Порівняння результатів для різних способів фрактальної сегментації

Результати досліджень та їх огляд

Для дослідження були отримані фотографії мікроструктури поверхневого шару зразків із сталі Р6М5 з підвищеним вмістом вуглецю (~2%) після комплексної хіміко-термічної обробки [1]. Процес формування композитної структури швидкорізальної сталі Р6М5 з різним часом науглецювання наведено на рис. 4.

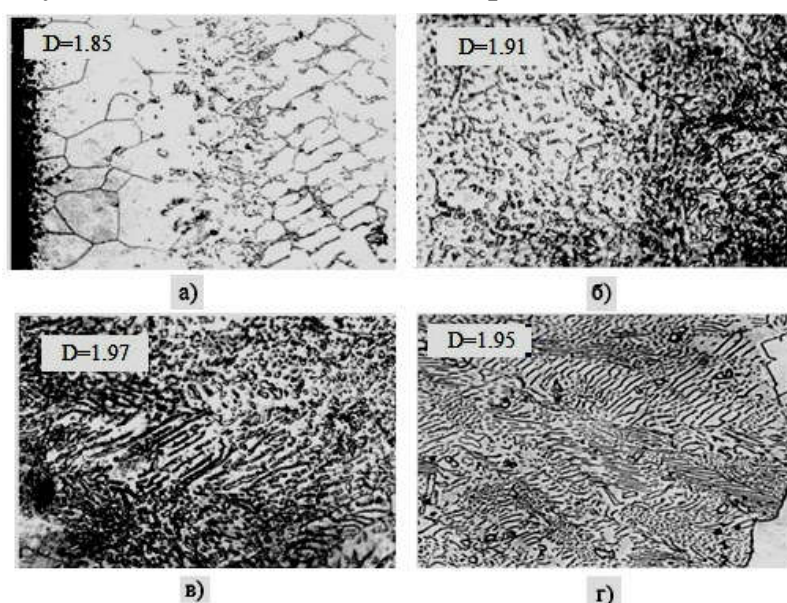


Рисунок 4 - Сталь Р6М5. Процес формування композитної структури швидкорізальної сталі Р6М5: а) знеуглецьований поверхневий шар; б) науглецювання 30 хвилин; в) науглецювання 1 година; г) науглецювання 2 години - кінцева структура

На рис. 4а наведено знеуглецьований поверхневий шар – частинки карбідів практично відсутні; на рис. 4б наведено зображення поверхні сталі після 30 хв. науглецювання – поява глобулярних карбідів; на рис. 4в - науглецювання 1 год. – збільшення кількості карбідів, зміни їх форми; на рис. 4г - науглецювання 2 год. – зміна форми карбідів, утворення колоній аустеніт + карбід.

В ході фрактального аналізу визначалася фрактальна розмірність методом BOX COUNTING та проводилася фрактальна сегментація зображень, яка дає чітке уявлення про фрагменти зображення з однаковими фрактальними властивостями. Щоб мати можливість розрізняти фрактальну розмірність сегментів фрактальна сегментація проводилася за допомогою спектру кольорів RGB (рис. 5).

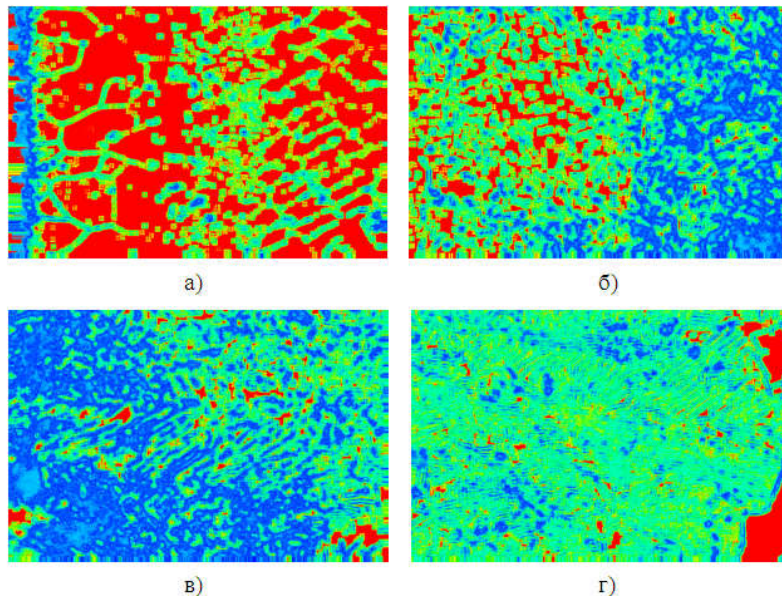


Рисунок 5 - Сталь Р6М5. Кольорова фрактальна сегментація структури швидкоріжучої сталі Р6М5 у процесі науглецювання

Велика кількість сегментів червоного кольору на рис. 5а свідчить про те, що локальні фрактальні розмірностей на цих сегментах близькі до 0. Поява великої кількості сегментів синього кольору на рис. 5б та рис. 5г свідчить про те, що локальні фрактальні розмірності на цих сегментах близькі до 2. Перевага великої кількості сегментів зеленого кольору на рис. 5г свідчить про те, що локальні фрактальні розмірності на цих сегментах близькі до 1.5.

Спостерігаючи за перетворенням фрактальної сегментації зображень композитної структури сталі можна відстежувати структурні

перетворення. На рис. 5а фрагментів з фрактальною розмірністю близькою до 0 досить багато, а на рис. 5в та 5г такі фрагменти майже відсутні. З рис. 4 та 5 видно, що в процесі науглецювання структура стає більш однорідною.

Висновки

В роботі розроблено та програмно реалізовано метод фрактальної сегментації зображень за допомогою групування сегментів з подібною локальною фрактальною розмірністю та відображення їх окремим кольором. При розробці даного методу реалізовано обчислення фрактальної розмірності зображень, обчислення локальних фрактальних розмірностей з використанням “ковзаючого вікна”; проведено фрактальну сегментацію зображень, за допомогою якої можна оцінити значення локальної фрактальної розмірності будь-якої частини зображення.

Спостерігаючи за перетворенням фрактальної сегментації зображень можна відстежувати структурні перетворення. Фрактальна сегментація дозволяє відстежувати ті сегменти зображення, які впливають на глобальну фрактальну розмірність всього зображення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Журба А.О., Михальов О.І. Фрактальні характеристики зображень металоструктур та особливості їх обчислення // Системные технологии моделирования сложных систем / Монография под общей редакцией проф. А.И. Михалёва. – Днепр: НМетАУ-ИБК “Системные технологии”, 2016. – С. 299 – 327. ISBN 978-966-2596-19-9.
2. Журба А.О. Дослідження впливу параметрів фрактальних об’єктів на їх розмірність / А.О. Журба, Д.І. Журба // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (102). - Дніпропетровськ. - 2016. – С. 125–131.
3. Журба А.О. Фрактальні методи обробки зображень для дослідження різних типів природних об’єктів / А.О. Артемьев // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XI Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро, 13-14 грудня 2017 р.-С.104.

КОГНІТИВНО-ГРАФІЧНИЙ МЕТОД КОНСТРУЮВАННЯ БАЗИСІВ ТРИКВАДРАТИЧНИХ СЕРЕНДИПОВИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. Когнітивно-графічний метод побудови ієрархічних форм базисних функцій дозволив отримати альтернативні базиси з параметром на триквадратичному скінченному елементі серендипової сім'ї без включення внутрішніх вузлів. За допомогою альтернативних базисів у роботі удосконалено відому інтерполяційну процедуру Тейлора і вперше отримано нові "змішані" просторові елементи, які ефективно використовують на границі областей з різними градієнтами вздовж координатних напрямків.

Ключові слова: скінченний елемент, когнітивно-графічний метод, інтерполяційний поліном, базисна функція, метод Тейлора.

Вступ. Апроксимація границь у методі скінченних елементів (МСЕ) є складною і актуальною задачею, яка ефективно розв'язується за допомогою криволінійних елементів. Автори [1] вважають, що ізопараметричні перетворення у купі з наближеним інтегруванням зробили "революцію" у методі скінченних елементів. В ізопараметричних перетвореннях метода скінченних елементів, як на площині, так і у просторі, в якості "породжуючих" елементів використовують стандартні лінійні, квадратичні і кубічні елементи. Як зазначено в статті [2], за допомогою тестових програм і розв'язання модельних задач встановлено, що квадратичні елементи більш ефективні (наприклад, при побудові матриць жорсткості і векторів сил) у порівнянні з лінійними і кубічними моделями. Справа у тому, що лінійні елементи є менш точними і дуже наближено описують криволінійні границі, тому потребують щільної скінченно-елементної сітки. В СЕ з кубічною інтерполяцією зростає точність, але і збільшуються обчислювальні витрати (наприклад, з'являється потреба в більшій кількості вузлів при чисельному інтегруванні). Також треба брати до уваги, що для апроксимації складових частин

елементів конструкцій використовують велику кількість елементів, що значно збільшує розмір глобальної матриці жорсткості. Ці проблеми особливо загострюються при просторових розрахунках. Виникає потреба у конструюванні просторових СЕ з покращеними обчислювальними характеристиками та інтерполяційними якостями.

Аналіз попередніх публікацій. З літератури по МСЕ відомі наступні методи побудови базисів СЕ: матричний [3, 4, 5]; інтерполяційна процедура Тейлора [6]; ймовірно-геометричний [7]; геометричний [8]; комбінований алгебро-геометричний [9], когнітивно-графічний метод конструювання ієрархічних функцій форми [10, 11]. Когнітивно-графічний метод завдяки універсальності є ефективним як на площині, так і у просторі.

Мета статті – запропонувати нові моделі “змішаних” скінченних елементів з триквадратичною інтерполяцією за допомогою модифікованої процедури Тейлора.

Основна частина. Традиційна процедура систематичного генерування базису СЕ у просторі має два етапи [6]:

Побудова “проміжної” базисної функції за допомогою перемноження полінома Лагранжа відповідного степеня по одному із напрямів на лінійні поліноми Лагранжа по іншим напрямам.

Побудова “кутової” базисної функції за допомогою лінійної комбінації трилінійної базисної функції $\bar{N}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)$ та “проміжних” функцій.

Розглянемо триквадратичний скінченний елемент серендипової сім’ї (CSE-20) у природній системі координат $\xi O \eta$ (рис. 1). Скористаємося процедурою Тейлора для побудови базису CSE-20 [6]. При цьому поліном Лагранжа 2-го степеня вздовж одного напрямку перемножують з лінійними поліномами Лагранжа вздовж другого і третього напрямків. Для “проміжних” функцій:

$$N_9(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4}(1-\xi^2)(1-\eta)(1-\zeta), \quad (1)$$

$$N_{12}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4}(1-\eta^2)(1-\xi)(1-\zeta), \quad (2)$$

$$N_{13}(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4}(1-\zeta^2)(1-\xi)(1-\eta). \quad (3)$$

Для “кутової” функції, наприклад, $N_1(\xi, \eta, \zeta)$, скористаємося лінійною комбінацією відомої функції трилінійної інтерполяції

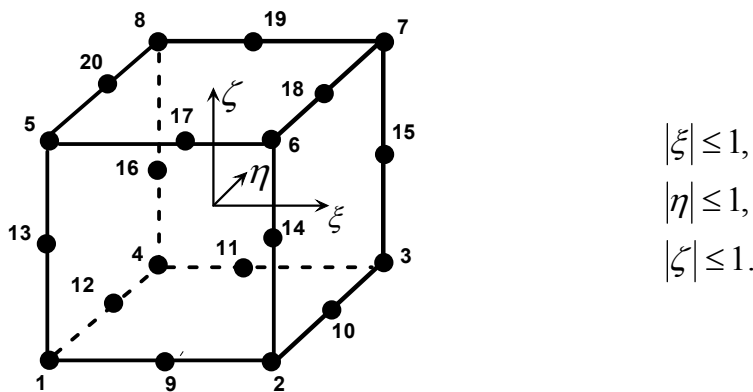
$$\bar{N}_1(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta) \quad (4)$$

і “проміжних” функцій (1) (3). Вибір вагових коефіцієнтів лінійної комбінації обумовлюється інтерполяційною гіпотезою. Таким чином,

$$N_1(\xi, \eta, \zeta) = \bar{N}_1 - \frac{1}{2}(N_9 + N_{12} + N_{13}). \quad (5)$$

Базисна функція для вузла 1:

$$N_1(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(-\xi-\eta-\zeta-2). \quad (6)$$



$$\begin{aligned} |\xi| &\leq 1, \\ |\eta| &\leq 1, \\ |\zeta| &\leq 1. \end{aligned}$$

Рисунок 1 - Триквадратичний серендиповий скінченний елемент

Взагалі, для “кутових” вузлів:

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta)(\xi_i \xi + \eta_i \eta + \zeta_i \zeta - 2), \quad (7)$$

$$\xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = \overline{1, 8}.$$

Для “проміжних” вузлів:

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{4}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta), \quad (8)$$

$$\eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = 9, 11, 17, 19.$$

Решта функцій утворюються із (8) шляхом циклічного переставлення ξ, η, ζ .

Елементи з різною кількістю вузлів на ребрах куба називають “змішаними” просторовими СЕ. “Змішані” елементи використовують на границі областей з різними градієнтами вздовж різних координатних напрямків. Автори [12, 13] пропонують будувати змішані еле-

менти за допомогою процедури систематичного генерування базису просторового СЕ з трикватратичною інтерполяцією (метод Тейлора). Наведемо у таблиці 1 алгоритм, який запропонований в [12, 13]. Зауважимо, що ключова ідея побудови “змішаних” серендипових елементів методом Тейлора реалізується у таблиці однією фразою: “за умови, якщо i вузол відсутній”.

Таблиця 1

Функції форми просторового СЕ з числом вузлів від 8 до 20	
$N_1 = \bar{N}_1(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_9 + N_{12} + N_{13}),$	$N_2 = \bar{N}_2(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_9 + N_{10} + N_{14}),$
$N_3 = \bar{N}_3(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{10} + N_{11} + N_{15}),$	$N_4 = \bar{N}_4(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{11} + N_{12} + N_{16}),$
$N_5 = \bar{N}_5(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{13} + N_{17} + N_{20}),$	$N_6 = \bar{N}_6(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{14} + N_{17} + N_{18}),$
$N_7 = \bar{N}_7(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{15} + N_{18} + N_{19}),$	$N_8 = \bar{N}_8(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{16} + N_{19} + N_{20}),$
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i\eta)(1 + \zeta_i\zeta), \quad i = 9; 11; 17; 19$	
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i\xi)(1 + \zeta_i\zeta), \quad i = 10; 12; 18; 20$	
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \zeta^2)(1 + \xi_i\xi)(1 + \eta_i\eta), \quad i = 13; 14; 15; 16$	
$N_i = 0$ (якщо i -й вузол відсутній), $i = \overline{9; 20}$	
$\bar{N}_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1 + \xi_i\xi)(1 + \eta_i\eta)(1 + \zeta_i\zeta), \quad i = \overline{1, 8}.$	

Модель (7)-(8) має неприродний розподіл вузлових навантажень з від’ємними значеннями в кутових вузлах. Нагадаємо, що для скінченного елемента вузлова доля рівномірної масової сили визначається як інтегральне середнє функції форми:

$$p_i = \iiint_{\omega} \gamma N_i(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta, \quad \gamma = \frac{1}{8}. \quad (9)$$

При використанні інтерполяційних поліномів (7)-(8) на ССЕ уникнути цих недоліків і отримати додатний розподіл рівномірної масової сили неможливо [3].

Поставимо за мету модифікувати інтерполяційну процедуру Тейлора за допомогою функцій форми когнітивно-графічного методу, які для трикватратичного елемента мають вигляд [11]:

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \times (-2 + \xi_i \xi + \eta_i \eta + \zeta_i \zeta + K(\xi_i \eta_i \xi \eta + \xi_i \zeta_i \xi \zeta + \eta_i \zeta_i \eta \zeta - 2\xi_i \xi - 2\eta_i \eta - 2\zeta_i \zeta + 3)),$$

$$\xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = \overline{1, 8}.$$

$$N_i = \frac{1}{4}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \left(1 - \frac{1}{2}K(2 - \eta_i \eta - \zeta_i \zeta)\right),$$

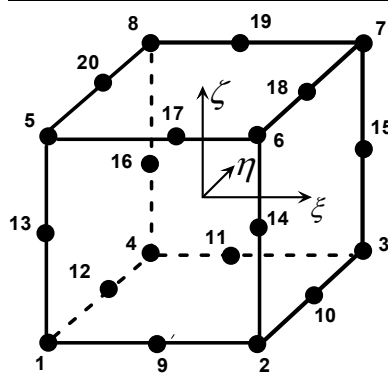
$$\eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = 9, 11, 17, 19.$$

Використаємо у процедурі Тейлора функції форми когнітивно-графічного методу (10)-(11). Наявність керуючого параметра K дозволяє генерувати безліч нових елементів з нерегулярним розташуванням вузлів (табл. 2).

Таблиця 2

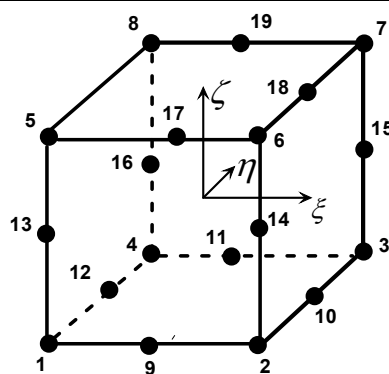
Функції форми просторового СЕ з числом вузлів від 8 до 20 (багатопараметричний інтерполяційний поліном з параметром K)	
$N_1 = \bar{N}_1(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_9 + N_{12} + N_{13}),$	$N_2 = \bar{N}_2(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_9 + N_{10} + N_{14}),$
$N_3 = \bar{N}_3(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{10} + N_{11} + N_{15}),$	$N_4 = \bar{N}_4(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{11} + N_{12} + N_{16}),$
$N_5 = \bar{N}_5(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{13} + N_{17} + N_{20}),$	$N_6 = \bar{N}_6(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{14} + N_{17} + N_{18}),$
$N_7 = \bar{N}_7(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{15} + N_{18} + N_{19}),$	$N_8 = \bar{N}_8(\xi, \eta, \zeta) - \frac{1}{2}(N_{16} + N_{19} + N_{20}),$
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \left(1 - \frac{K}{2}(2 - \eta_i \eta - \zeta_i \zeta)\right), \quad i = 9; 11; 17; 19$	
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i \xi)(1 + \zeta_i \zeta) \left(1 - \frac{K}{2}(2 - \xi_i \xi - \zeta_i \zeta)\right), \quad i = 10; 12; 18; 20$	
$N_i = \frac{1}{4}(1 - \zeta^2)(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta) \left(1 - \frac{K}{2}(2 - \xi_i \xi - \eta_i \eta)\right), \quad i = 13; 14; 15; 16$	
$N_i = 0$ (якщо i -й вузол відсутній) $i = \overline{9; 20}$	
$\bar{N}_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta), \quad i = \overline{1, 8}.$	

Можливі варіанти розташування вузлів СЕ показані на рис. 2-13.



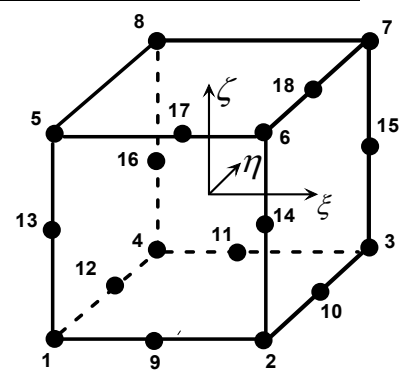
20 вузлів

Рисунок 2



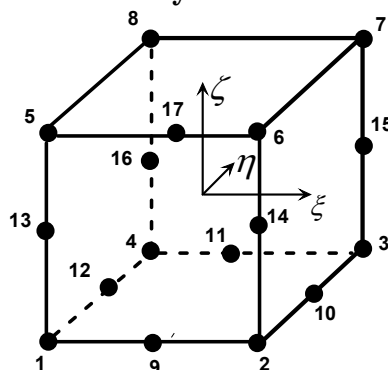
19 вузлів

Рисунок 3



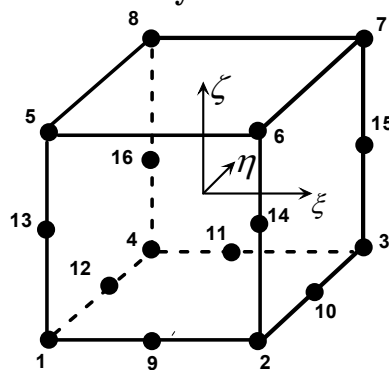
18 вузлів

Рисунок 4



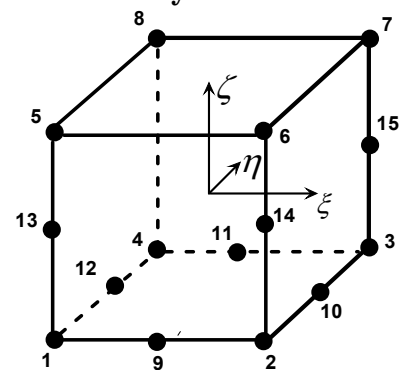
17 вузлів

Рисунок 5



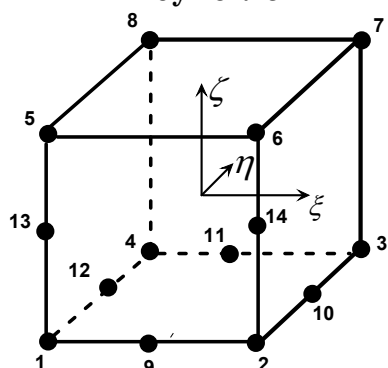
16 вузлів

Рисунок 6



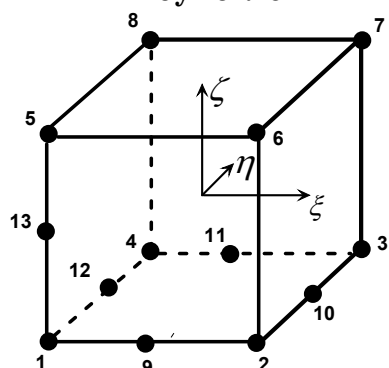
15 вузлів

Рисунок 7



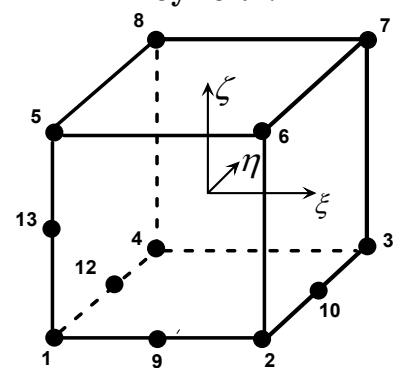
14 вузлів

Рисунок 8



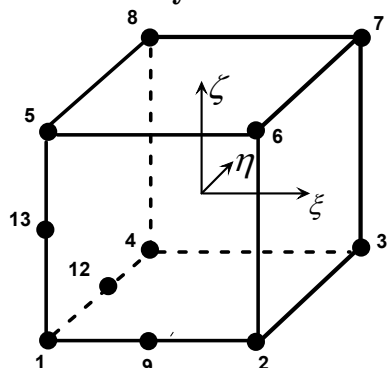
13 вузлів

Рисунок 9



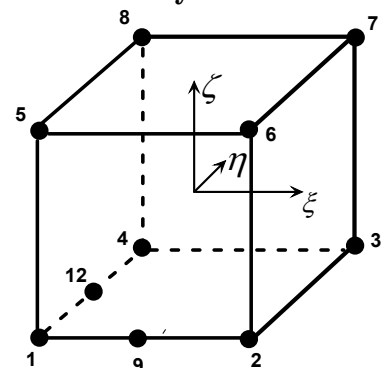
12 вузлів

Рисунок 10



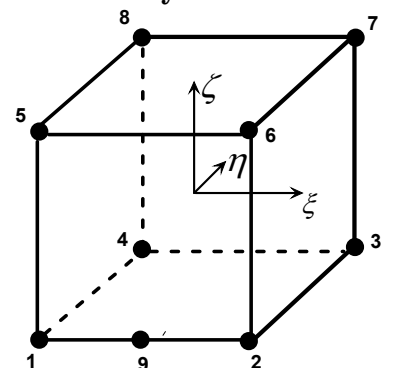
11 вузлів

Рисунок 11



10 вузлів

Рисунок 12



9 вузлів

Рисунок 13

У формулах (12) - (22) наведено функції форми “змішаного” просторового скінченного елемента з лінійно-квадратичною інтерполяцією, який зображено на рис. 11.

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(-2-\xi-\eta-\zeta+2K(1+\xi+\eta+\zeta)+K(1+\xi\eta+\xi\zeta+\eta\zeta)), \\
 N_2 &= \frac{1}{16}(1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(2\xi+K(1-\xi)(2+\eta+\zeta)), \\
 N_i(\xi, \eta, \zeta) &= \frac{1}{8}(1+\xi_i\xi)(1+\eta_i\eta)(1+\zeta_i\zeta), \quad i=3,6,7,8 \quad \xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \\
 N_4 &= \frac{1}{16}(1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta)(2\eta+K(1-\eta)(2+\xi+\zeta)), \\
 N_5 &= \frac{1}{16}(1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(2\zeta+K(1-\zeta)(2+\xi+\eta)), \\
 N_9 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)\left(1+\xi-\frac{K}{2}(1+\xi)(2+\eta+\zeta)\right), \\
 N_{12} &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)\left(1+\eta-\frac{K}{2}(1+\eta)(2+\xi+\zeta)\right), \\
 N_{13} &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)\left(1+\zeta-\frac{K}{2}(1+\zeta)(2+\xi+\eta)\right).
 \end{aligned}$$

Аналогічна процедура побудови “змішаних” елементів на площині виконана у випадку базового біквадратичного серендипового скінченного елемента [14].

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі запропоновані нові “змішані” просторові елементи, які отримані з триквадратичного скінченного елемента серендипової сім’ї за допомогою використання модифікованого методу Тейлора. Цікавим є поширення запропонованих процедур для конструювання функцій форми трикубічного просторового СЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ergatoudis I. Curved isoperimetric “quadrilateral” elements for finite element analysis / I. Ergatoudis, B.M. Irons, O.C. Zienkiewicz // Internat. J. Solids Struct., — № 4. — 1968. — P. 31-42.
2. Akin J.E. Finite Elements Analysis with Error Estimators / J.E. Akin. — Elsevier, Butterworth -Heinemann, 2005. — 477 p.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. — М.: Мир, 1975. — 541 с.
4. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method / O.C. Zienkiewicz, R.L.Taylor. — V.1. — Butterworth-Heinemann, 2000. — 689 p.

5. Ocate E. Structural Analysis with the Finite Element Method, vol. 1 / E. Ocate. – Springer Netherlands, 2009. – 495 p.
6. Taylor R.L. On the completeness of shape functions for finite element analysis /R.L. Taylor // J. Num. Meth. Eng. -V.4. - № 1. - 1972. - P. 17-22.
7. Хомченко А.Н. О вероятностном построении базисных функций МКЭ / А.Н.Хомченко. — Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1982. — 5 с. — Деп. в ВИНТИ 21.10.82, №5264.
8. Хомченко А.Н. Геометрия серендиповых аппроксимаций / А.Н. Хомченко, Е.И. Литвиненко, П.И. Гучек // Прикл. геом. и инж. графика. — К. : Будівельник, 1996. — Вып. 59. — С. 40-42.
9. Астионенко И.А. О серендиповых элементах с естественным спектром узловых нагрузок /И.А. Астионенко, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Геом. та комп'ютерне моделювання. Зб. наук. пр. — Вип. 17. — Харків: ХДУХТ, 2007. — С. 97-102.
- 10.Хомченко А.Н. Новый подход к построению базисов серендиповых элементов /А.Н. Хомченко, Е.И. Литвиненко, И.А. Астионенко // Геом. та комп. моделювання. Зб. наук. праць. — Вип. 23. — Харків: ХДУХТ, 2009. — С.90-95.
- 11.Литвиненко Е.И. Когнитивно-графический метод конструирования иерархических базисов серендиповых пространственных элементов / Е.И. Литвиненко. — Materialy V mezinarodni vedecko – prakticka konference “Aplikovane vedecke novinky – 2009”. – Dil. 5. Matematika. Praha: Education and Science, 2009. – P. 60-67.
- 12.Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов./ К. Бате, Е. Вильсон. — М.: Стройиздат, 1982.— 448 с.
- 13.Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел. / Под. общей редакцией А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. — К.: Вища школа, 1982.— 480 с.
- 14.Astionenko I. Cognitive-graphic Method for Constructing of Hierarchical Form of Basic Functions of Biquadratic Finite Element AIP Conference Proceedings report. / I.O. Astionenko, O.I. Litvinenko, N.V. Osipova, G.Ya.Tuluchenko, A.N. Khomchenko — 2016. — V. 1773. — I. 1. — P. 040002-1 – 040002-11. — DOI: 10.1063/1.4964965 .

М.А. Поляков, И.А. Андриас

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ГИБРИДНЫХ АВТОМАТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Предложены модели функциональных структур гибридных автоматов систем управления в виде иерархической структуры контуров дискретного и непрерывного управления. Описаны типовые элементы этих функциональных структур – конечные автоматы, входные и выходные операционные автоматы. Входы и выходы этих элементов предложено разделить на две группы – информационные и управляющие. Приведен пример реализации гибридных автоматов с помощью предложенных моделей.

Ключевые слова: функциональные структуры управления, гибридные автоматы, теоретико-множественные модели структур управления.

Введение

В основе формальных описаний динамических систем лежат дифференциальные уравнения и конечные автоматы. В первом случае описывается непрерывное, а во втором – дискретное поведение системы.

Существует также обширный класс динамических систем, в которых дискретное и непрерывное поведение присутствуют одновременно. Такие системы формализуют гибридными автоматами [1,2]. Так одна из популярных интерпретаций гибридного автомата Н [3] описывается кортежем:

$$H=(W,X,M,F,T), \quad (1)$$

где $W = \{u, y\}$ – множество входных (u) и выходных (y) внешних переменных; X определяет непрерывное пространство, для которого непрерывные переменные состояния x могут принимать свои значения; M – множество режимов непрерывного поведения из которых только один режим активен в данный момент времени; F – дискретное множество дифференциально-алгебраических уравнений (DAE) первого порядка; T – множество переходов от одного режима к другому. Каж-

дое DAE уравнение определяет взаимосвязь между переменными состояния (x), их производными по времени первого порядка (\dot{x}) и входами (w):

$$f_m(x, \dot{x}, w) = 0, m \in M.$$

Решение этих DAE уравнений называется действиями или поведением непрерывного режима определяет непрерывную эволюцию системы, когда она находится в этом режиме. Переходы или события, представляют логические условия, при которых происходит смена режима. Если ни одно из условий перехода не выполняется, то гибридные автоматы остаются в текущем режиме, а переменные состояния развиваются в соответствии с указанным поведением. Переходы определяют дискретную эволюцию системы, описывая, как режим непрерывного поведения обновляется с течением времени.

Пример гибридного автомата, который управляет одномерной моделью автомашины, приведен на рис.1.

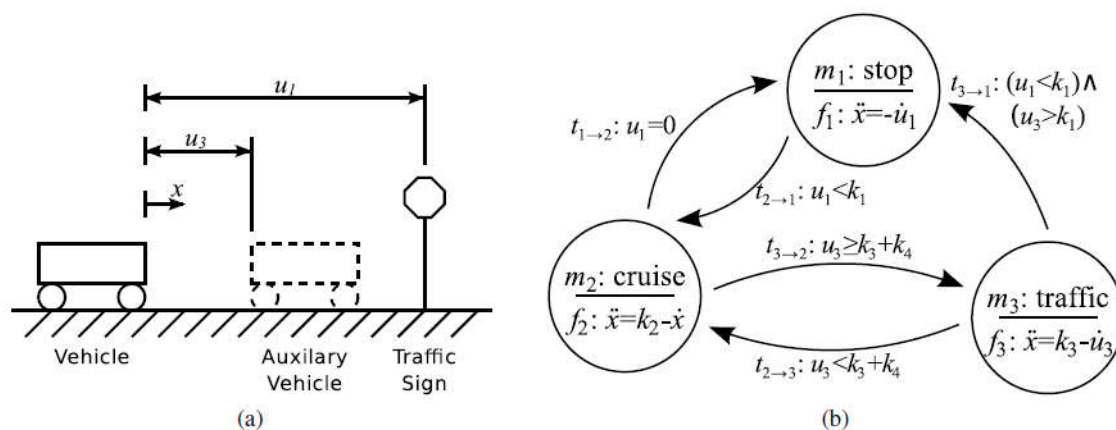


Рисунок 1 - Структура (a) и граф гибридного автомата (b) системы управления одномерной моделью автомашины [3]

Система управления включает управляемую автомашину (Vehicle), автомашину - помеху движению (Auxiliary Vehicle) и знак остановки (Traffic Sign). Положение управляемой автомашины задается координатой x , входными переменными u_1 (расстояние до знака остановки) и u_3 (расстояние до автомашины – помехи). Переменные состояния это скорость \dot{x} и ускорение \ddot{x} управляемой автомашины. Система находится в одном из трех режимов непрерывного поведения: m_1 – торможение; m_2 – разгон и m_3 – сохранение текущей скорости. Поведение системы в этих режимах описывается DAE уравнениями

$f_1 - f_3$. Множество переходов T состоит из пяти переходов, каждый из которых задает условие перехода.

Таким образом, сравнивая дискретный и гибридный автоматы, во-первых отметим, подчиненную роль непрерывного управления, так как конкретное поведение возникает в результате перехода системы в соответствующее состояние. Во-вторых, деятельность дискретного автомата описывается выходными дискретными переменными (типа «включить/выключить исполнительный механизм»). А у гибридного автомата деятельность определяется решениями DAE уравнений. При проектировании гибридных автоматов возникает ряд вопросов, которые недостаточно освещены в известной автору литературе: из каких блоков должен состоять гибридный автомат; как эти блоки взаимодействуют между собой, то есть какова функциональная структура гибридного автомата; как такие автоматы работают в иерархических структурах управления? Отсутствие таких моделей усложняет проектирование систем управления на основе использования гибридных автоматов и является нерешенной научно-технической задачей.

Целью настоящей работы является упрощение процесса проектирования систем гибридного управления на основе выделения и описания на теоретико-множественном уровне типовых элементов и структур.

Модели и структуры гибридных автоматов

Блочный состав гибридных автоматов сформировался в ходе эволюции представлений о системе управления. Управление техническим устройством, как отдельный вид деятельности, возникло одновременно с созданием машин и потребовало выделения части машины в отдельный блок, т. е. возникла система «объект управления - управляющее устройство». Далее для описания взаимодействия этой системы с остальным миром введены понятия внешней среды, входов, выходов и функций блоков. Внешняя среда определена как часть внешнего мира, которая непосредственно влияет на работу системы управления, имеет входы, выходы и границу с ней. В более детальных исследованиях внешняя среда также представляется динамической системой с внешней границей и сложной структурой.

Как известно, процесс управления включает в себя измерительные и логические операции, операции формирования воздействий на объект управления. Блоки системы, выполняющие эти операции,

получили название операционных и управляющих автоматов. Операционные автоматы разделяют на входные (измеряющие) и выходные (формирующие). С учетом многообразия физических параметров входов и выходов объекта управления в системе управления выделены блоки преобразователей этих параметров в электрический сигнал – датчики и исполнительные механизмы. Структурная схема описанной системы приведена на рис.2.

Автомат IOA (рис. 2) измеряет значения входных сигналов, сравнивает их с опорными значениями и формирует на своем выходе логические сигналы для FSM. В расширенной трактовке IOA это преобразователи сигналов, которые напрямую соединяются со входами OOA как показано на рис. 3.

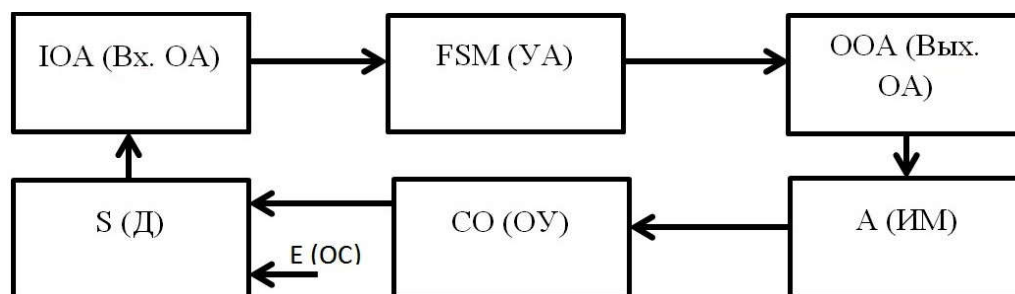


Рисунок 2 – Структура системы управления: IOA – Input Operational Automata (Входной Операционный Автомат); FSM – Finite State Machine (Управляющий Автомат); OOA - Output Operational Automata (Выходной Операционный Автомат); S – Sensors (Датчики); CO – Control Object (Объект Управления); A – Actuators (Исполнительные механизмы); E – Environment (Окружающая среда)

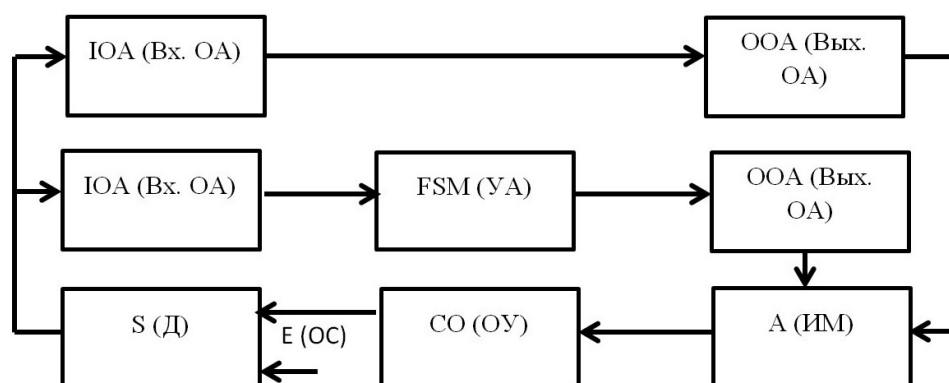


Рисунок 3 - Структура системы с контурами непрерывного и дискретного управления

В структуре системы управления приведенной на рис.3 действуют независимо друг от друга два контура управления:

CO – S – IOA – OOA – A – CO – контур непрерывного управления.

CO – S – IOA – FSM – OOA – A – CO - контур дискретного управления.

Это расширяет функциональные возможности системы.

Следующий этап развития систем управления назовем этапом «управления управлением». Целью такого управления является адаптация системы к изменяющимся условиям внешней среды, целям функционирования системы и техническим состояниям элементов системы управления. Различают параметрическую и структурную адаптации. Последняя предполагает возможность исключения некоторых блоков управляющего устройства из контура управления или включения их в контуры управления, а также выполнения других операций управления. Для этого блоки должны иметь не только информационные, но и управляющие входы и выходы. Внешние связи блоков управляющего устройства показаны на рис. 4.

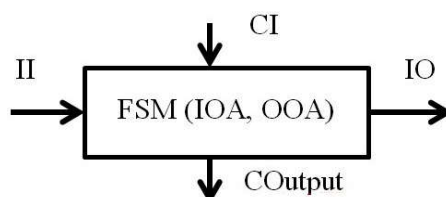


Рисунок 4 - Внешние связи блоков управляющего устройства: II – Information Inputs (Информационные Входы); CI – Control Inputs (Управляющие Входы); IO - Information Outputs (Информационные Выходы); COutput – Control Outputs (Управляющие Выходы)

С учетом описанных вариантов построения систем управления, структура гибридного автомата заданного кортежем (1) примет вид, показанный на рис.5.

Структура имеет два уровня. Верхний уровень содержит автомат FSM в контуре дискретного управления, а нижний – три контура непрерывного управления, которые описываются DAE уравнениями $f1 - f3$, приведенными на рис.1. Автомат OOA в контуре дискретного управления показан пунктиром, так как в данном примере отсутствуют выходные переменные в этом контуре.

В приведенном примере контур дискретного управления является инициатором изменений в контурах непрерывного управления. Назовем такой тип управления Master-Discrete-Slave-Continues (MDSC). На рис.6 приведен пример структуры гибридного автомата

типа Master- Continues -Slave- Discrete (MCSD) в которой выходной автомат в контуре непрерывного управления изменяет поведение блоков FSM, IOA, OOA в контуре дискретного управления.

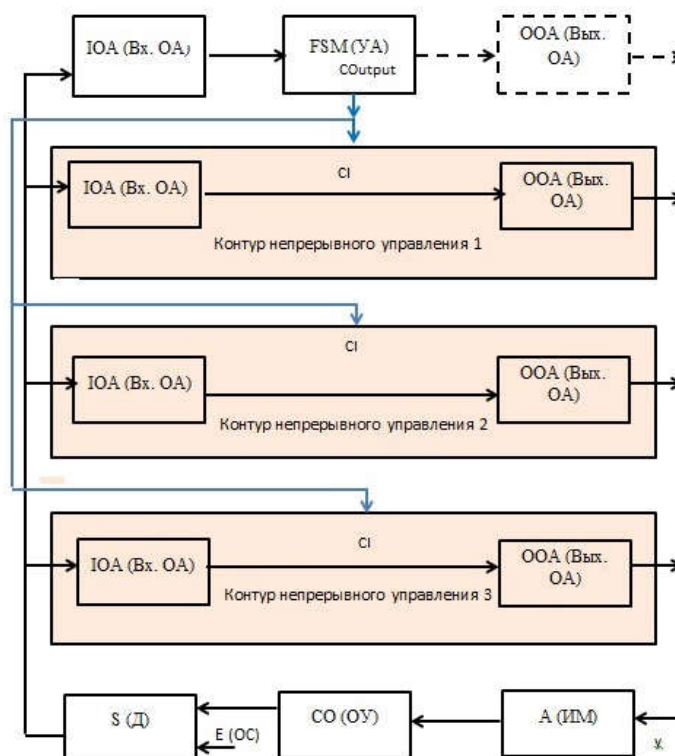


Рисунок 5 - Двухуровневая структура гибридного автомата на основе блоков IOA, OOA и FSM

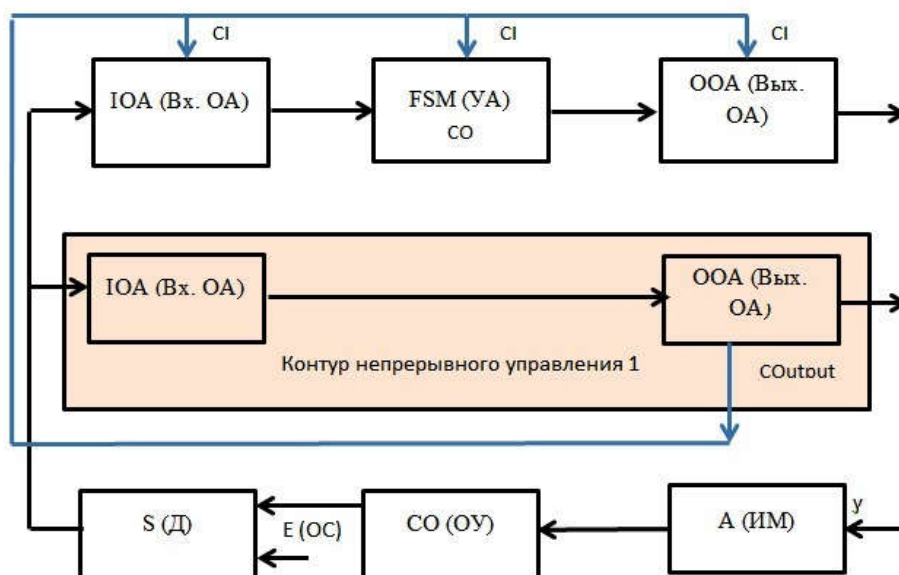


Рисунок 6 - MCSD структура гибридного автомата на основе блоков IOA, OOA и FSM

Наконец, возможна структура гибридного автомата, которая объединяет MDSC и MCSD структуры. С помощью управляющих вхо-

дов CI и выходов COutput возможно образование иерархий в рамках одного вида управления – дискретного или непрерывного.

Рассмотренные структуры гибридных автоматов представляют собой графическую интерпретацию теоретико-множественных моделей гибридных автоматов на уровне множеств элементов, внутренних и внешних связей [4-6].

Выводы

Поведение гибридных автоматов в системе управления может быть с помощью типовых блоков входных, выходных операционных автоматов и управляющего автомата, которые функционируют в иерархии структур управления.

Эти блоки образуют двухуровневые структуры, в которых управляющую роль могут играть как управляющие автоматы контуров дискретного управления, так и операционные автоматы контуров непрерывного управления.

Предложенные структурные схемы позволяют моделировать гибридное поведение в системе управления на теоретико-множественном уровне, что упрощает процесс проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Branicky M. S.. Handbook of Networked and Embedded Control Systems, chapter “Introduction to hybrid systems”, pages 91–116. Birkhauser, 2005.
2. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сенченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем.- СПб.: БХВ-Петербург, 2002, 464 с.: ил.
3. Ly D. L., Lipson H. Learning Symbolic Representations of Hybrid Dynamical Systems. // Journal of Machine Learning Research 13 (2012) 3585-3618
4. Поляков М.А. Теоретико-множественные модели интегрированных систем управления // Днепропетровск, «Системні технології».- 2009, №4, с. 131-137.
5. Поляков М.А. Теоретико-множественные модели элементов и структур интегрированных контроллерных систем управления // Днепропетровск, «Системні технології».- 2012, №2, с. 75-81.
6. Поляков М.А. Теоретико-множественные модели функциональных структур систем когнитивного управления // Дніпро, «Системні технології».- 2017, №3(110), с. 16–23.

УДК 656.212.5: 581.3

В.В. Скалозуб, И.В. Жуковицкий, И.В. Клименко, А.П. Заец

**СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ
УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ
ПЕРЕВОЗКАМИ УКРАИНЫ**

Аннотация. В работе рассматриваются методы оперативного прогнозирования недетерминированных и антиперсистентных технологико-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе применения новых статистических методов анализа временных рядов, которые собираются системой АСУ ГП УЗЕ.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, железнодорожные перевозки, временные ряды, прогноз, статистический анализ, показатель Херста.

Введение и анализ существующих решений

В настоящее время выполняется интеграция информационных ресурсов автоматизированных систем украинских железных дорог (УЗ) в рамках единой автоматизированной системы управления грузовыми перевозками АСУ ГП УЗЕ. При переходе к АСУ ГП УЗЕ отметим важность развития интеллектуальных технологий применительно к новым задачам повышения технологической, экономической и информационной эффективности АСУ. Открытая архитектура АСУ ГП УЗЕ позволяет выполнить автоматизацию различных аспектов управления грузовыми перевозками [1]. Вместе с этим в АСУ грузовыми перевозками практически нет унифицированных подсистем, которые обеспечивают процессы поддержки принятия управленческих решений (ППР) персонала с использованием современных интеллектуальных методов выявления и исследования закономерностей в накопленных данных.

В связи с тем, что подсистемы ППР имеют ряд общих задач и функций, которые в рамках АСК ВП УЗЕ должны опираться на общую информационную базу и общие методы реализации, целесооб-

© Скалозуб В.В., Жуковицкий И.В., Клименко И.В., Заец А.П., 2018

разно унифицировать процедуры создания и подготовить методики их эффективной реализации. Для подобных подсистем управления предложено использовать термин «Аналитические серверы» – АС [2]. Системы АС предназначены для унификации разработки процедур ППР, чтобы на основе информационного фундамента АСУ ГП УЗЕ обеспечить информационно-аналитическую поддержку управленческих решений руководящего, инженерно-технического и диспетчерского персонала.

Ориентация на эффективность поддержки конкретных управленческих функций определяет необходимость создания комплекса или семейства АС, которые должны специализироваться на разных типах задач управления грузовыми перевозками: управление вагонными парками (АС УВП), управление локомотивными парками (АС УЛП) и тому подобное.

Вместе с тем, в соответствии с современными подходами к созданию информационных систем, является целесообразным использование общей платформы, в рамках которой решаются вопросы стандартизации и общесистемного обеспечения АС.

На рис. 1 [2] приведенная возможная схема функционирования аналитических серверов в составе АСУ ГП УЗЕ. Выделяются три уровня, на которых происходит функционирование АС: аппаратно-программные средства (АПС) ядра АСУ ГП УЗЕ, собственные АПС аналитических серверов, АПС клиентов АС.

АПС ядра АСУ ГП УЗЕ в первую очередь обеспечивают ведение базы данных, которой пользуются задачи АС. Здесь также могут функционировать некоторые программы обработки данных (например, программы для формирования «базы знаний»). Важно подчеркнуть, что в соответствии с архитектурой АСУ ГП УЗЕ аналитические серверы, как правило, должны функционировать в рамках конкретных узлов системы.

При выборе аппаратно-программных решений по созданию АС целесообразно отдавать приоритет современным веб-технологиям. В настоящее время в рамках таких технологий создан ряд стандартных решений, которые обеспечивают эффективные коммуникации при наличии информационной безопасности и достаточно развитого тексто-во-графического интерфейса пользователей.

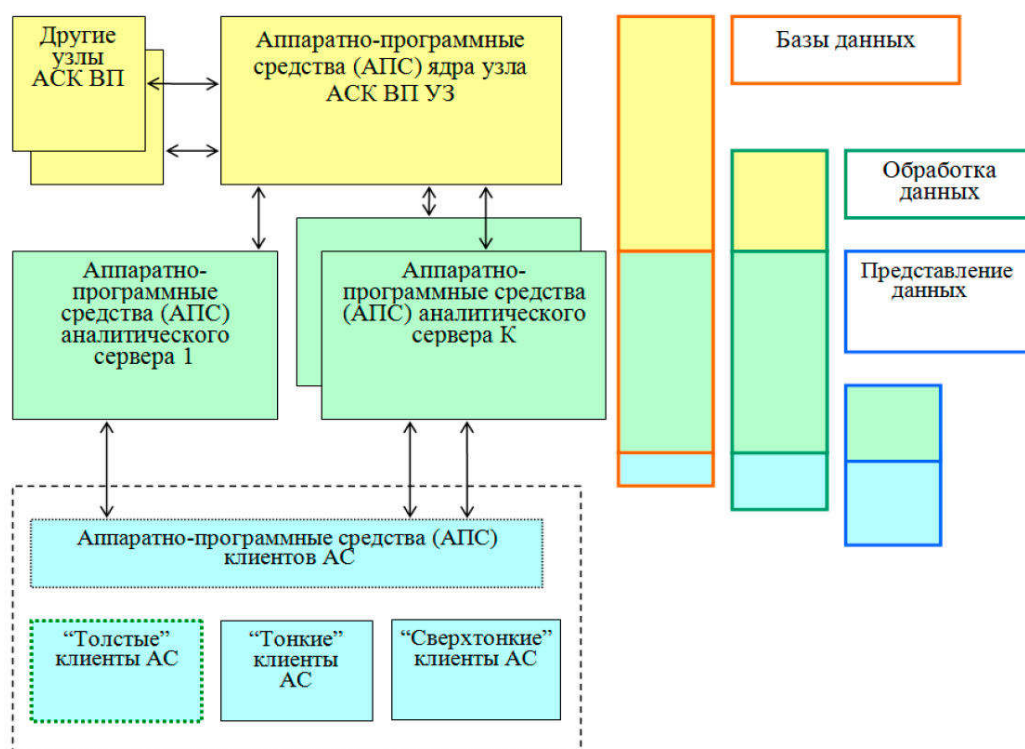


Рисунок 1 - Схема взаимодействия АС с клиентами и ядром АСК ВП УЗ

Функции, которые возлагаются на АПС клиентов (клиентские компьютеры), могут быть достаточно разными в соответствии с задачами конкретных рабочих мест. В соответствии с технической политикой развития системы АСК ВП УЗ, преимущество отдается так называемым «тонким клиентам» – решениям, которые минимизируют требования к сопровождению клиентских АПС за счет выполнения большинства функций системе в ее серверной части. Вариантом такого решения при использовании веб-технологий является «сверхтонкий клиент», где на ПК пользователя может использоваться лишь стандартная программа-браузер.

Цель работы

Целью данной работы является разработка методов оперативного прогнозирования недетерминированных и антиперсистентных технологико-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе применения новых статистических методов анализа временных рядов, которые собираются системой АСУ ГП УЗЕ. Представленные методы могут быть использованы в аналитических серверах АСУ ГП УЗЕ для поддержки принятия управленческих решений.

Анализ временных рядов технологико-экономических процессов железнодорожного транспорта

Данные о процессах перевозок, накапливающиеся в АСУ ГП УЗЕ, являются временными рядами (ВР), упорядоченными по этапам изменения некоторых из заданных показателей. Эти показатели имеют сложную динамическую структуру и отражают свойства технологических, финансовых и многих других процессов железнодорожного транспорта.

В этой связи отметим возможности применения новых статистических методов анализа таких рядов, в нашем примере – параметров вагонопотоков. Среди этих методов выделим показатель Херста [3], оценивающий стохастичность ряда и наличие в нем долговременной «памяти», а также метод Т. Демарка [4], используемый для прогнозирования биржевых процессов. Отметим исследования вопросов по адаптации этих методов с учетом свойств временных рядов, характерных для железнодорожного транспорта [5...8].

Представим один из результатов анализа временных рядов на основе показателя Херста [3]:

$$H = \frac{\log(R / S)}{\log(a * N)}, \quad (1)$$

где H – показатель Херста; S – среднее квадратическое отклонение ВР; R – размах накапливаемых отклонений; N – число периодов наблюдений; a – заданная константа.

Значение показателя Херста позволяет установить категорию, классифицировать процессы ВР как персистентные (трендостойкие), антиперсистентные (излом тенденции, возврат), выявить случайный характер процесса. Установлено [7], что для «коротких» ВР (соответствуют реальным процессам реализации железнодорожных перевозок) лучше использовать величину константы $a = \pi/2$. Такое значение параметра позволяет с большей достоверностью оценивать свойства ВР и определять, когда ВР имеет «память» ($H > 0,5$).

Решается задача определения основных характеристик временных рядов, представленных на рис. 2 (наличие свойства случайности ряда показателей или же присутствие в нем «долговременной памяти» – категории персистентность, антиперсистентность; расчет средней длины скрытого цикла; устойчивость основной тенденции ряда – тренда). Рассчитывались согласно (1) значения показателей Херста

для рядов А и В. При этом было установлено, что коэффициент Херста H для ряда А имеет значение в диапазоне от 0,343 до 0,389, т.е. $H < 0,5$ (ряд является антиперсистентным, ожидается изменение тенденции); для ряда В значение H от 0,664 до 0,715, т.е. $H > 0,5$ (ряд персистентный, тенденция сохраняется).

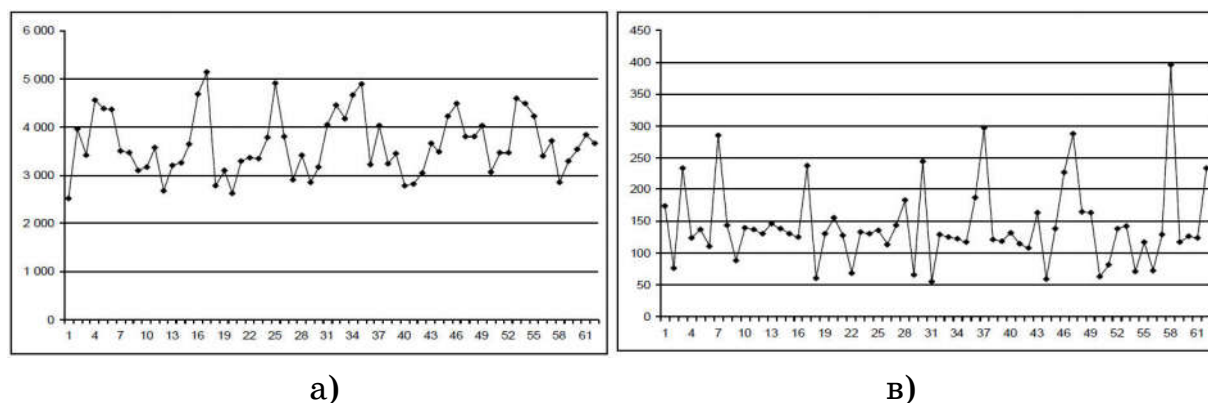


Рисунок 2 - Графики суточной передачи вагонов между железнодорожными полигонами

При регрессионном анализе поведения рядов получены следующие уравнения: для ряда А

$$Y = 3565 + 2,422 * X; \quad (2)$$

для ряда В

$$Y = 171,6 + 1,794 * X. \quad (3)$$

Обе функции, построенные для рядов А и В, соответствуют условиям адекватности, свидетельствуют об ожидаемом росте прогнозируемых параметров в будущих периодах. Вместе с тем это противоречит результатам анализа Херста для ряда А, которые указывают на ожидаемую смену тенденции временного ряда – то есть на возможное уменьшение показателя в будущем. Таким образом, необходимо унифицировать и совершенствовать методики прогнозирования и планирования показателей технологических и соответствующих экономических процессов на железнодорожном транспорте.

На рис. 3 приведен еще один пример использования методов и средств, предусмотренных в АС, для решения задач прогнозирования параметров вагонопотоков, используя данные АСУ ГП УЗЕ.

«Коридор» ожидаемых значений показателей вагонопотоков, исходные значения которых указаны пунктиром, построен по методу Т. Демарка, а показанные внутри него значения (линия с треугольниками) уточняют интервальный прогноз, используя модифициро-

ванный метод, ориентированный на ряды показателей железнодорожного транспорта.

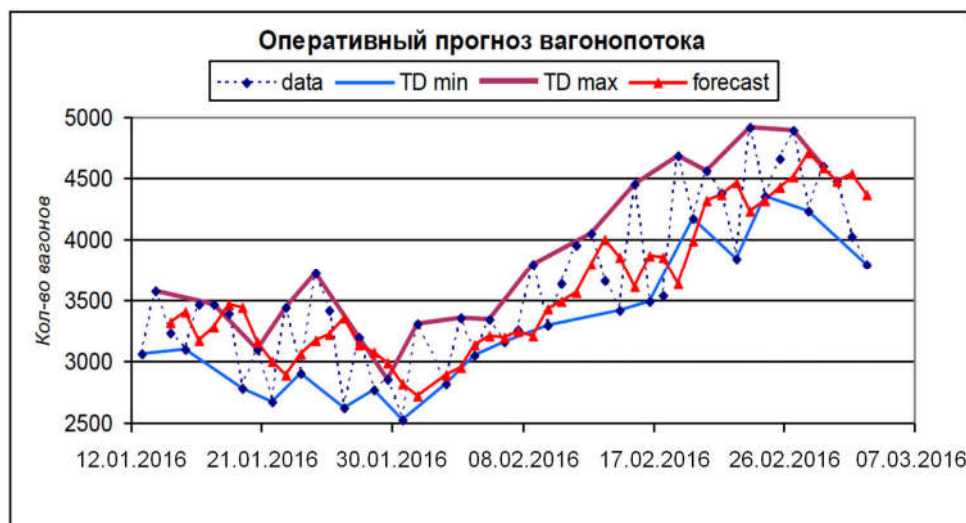


Рисунок 3 - Оперативный прогноз параметров вагонопотока на основе модифицированного метода Т. Демарка

Для величин прогнозов, которые представлены на рис. 3, относительная ошибка составила $e(\tilde{Y}) = 8,77\%$, где погрешность вычисляется согласно

$$e(\tilde{Y}) = \frac{\sum_{i=1...n} \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_i}{Y_i} \right)}{n} * 100\%. \quad (4)$$

С помощью модифицированного метода Т. Демарка можно прогнозировать и другие показатели вагонопотоков. На рис. 4 представлен временной ряд простоя вагонов на некоторой станции, измеренный в денежном выражении.



Рисунок 4 - Денежная оценка простоя вагонов на станции

В результате анализа установлено, что параметры рассматриваемых вагонопотоков (рис. 2...4), являются нестационарными временными рядами, которые не имеют четко выраженного тренда. Также в них присутствует сезонная, а в некоторых случаях и циклическая компонента. Для составления оперативного прогноза можно использовать модифицированный метод Т. Демарка, который в комбинации с методом размножения выборок с заданными свойствами (методом «бутстреп») [6], позволяет построить прогноз и оценить его точность. Последнее свойство отсутствует в методе Т. Демарка, где оценивается только ожидаемый диапазон возможного будущего значения исследуемого показателя.

Оперативное прогнозирование недетерминированных и антиперсистентных технолого-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе агрегирования временных рядов

Авторами были произведены расчеты свойства персистентности (антиперсистентности) для ряда ВР технолого-экономических процессов железнодорожного транспорта, в частности, параметров вагонопотоков по станциям, характеризующих количество отправленных за сутки вагонов (ВР-В). Расчеты показали, что даже при наличии достаточного количества статистических данных, применения стандартных статистических методов анализа ВР-В не дает возможности построить достоверный оперативный план. При более детальном анализе подобных ВР-В было выяснено, что их показатель Херста находится в интервале $[0,3; 0,5]$, что свидетельствует об отсутствии «памяти» в ВР. Отсутствие «памяти» означает, что сведения о предыдущих свойствах и поведении ВР не сохраняются. Это указывает на невозможность прогнозирования и планирования приведенных процессов.

Для анализа и дальнейшего исследования технолого-экономических процессов, описывающих ВР, для которых показатель Херста (далее H) находится в области так называемого «белого шума» ($H = [0,4, 0,5]$), предложено использовать процедуру агрегирования уровней ВР (объединение, укрупнение показателей процессов по определенным признакам [2, 3]).

Далее предлагается процедура ПКР (построения классификации ВР) путем их преобразования, обобщения и выравнивания расположенных рядом уровней. При этом на основе исходного ВР формируется серия новых ВР: $ВР_i(k)$, $k = 2, 3, \dots$. В серии $ВР_i(k)$ параметр

k указывает количество последовательно расположенных уровней ряда, которые используются для построения очередного уровня преобразованного ряда (как среднего значения уровней k) на i -м этапе процедуры ПКР по образованию и исследованию преобразованных $BP_i(k)$ на основе модели (1). На следующем $(i+1)$ и последующих этапах процедура ПКР применяется к новым, образованным на предыдущих этапах $BP_i(k)$. Построение серий $BP_i(k)$ прекращается, если для некоторого значения k соответствующий $BP_i(k)$ станет персистентным соответственно (1). В качестве другого условия окончания процедуры ПКР, служит выполнение на i -м этапе требования: $H(BP_i(k)) > H^*$, где H^* - заданная величина. При выполнении условия остановки серии расчетов $BP_i(k)$ для нескольких обобщенных уровней k , будем считать, что ВР относится к классу с меньшим k . Далее к полученным на k -м этапе модифицированным рядам применяют методы корреляционно-регрессионного анализа [6,8], строят регрессионные модели образованного ВР и т.д. Степенью достоверности построенных моделей является коэффициент детерминации (R^2).

На рис. 5, рис. 6 представлены агрегированные ряды процессов ВР, построенные для двух и трех уровней параметров (показателей отправления вагонов).

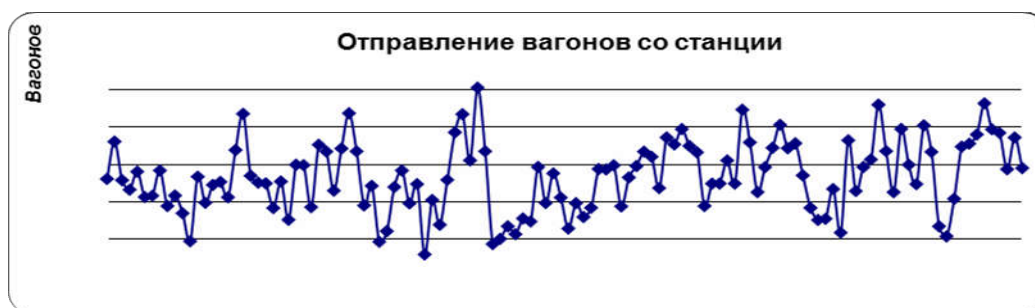


Рисунок 5 - Параметры вагонопотока с агрегированием за 2 суток,
 $H=0.18$

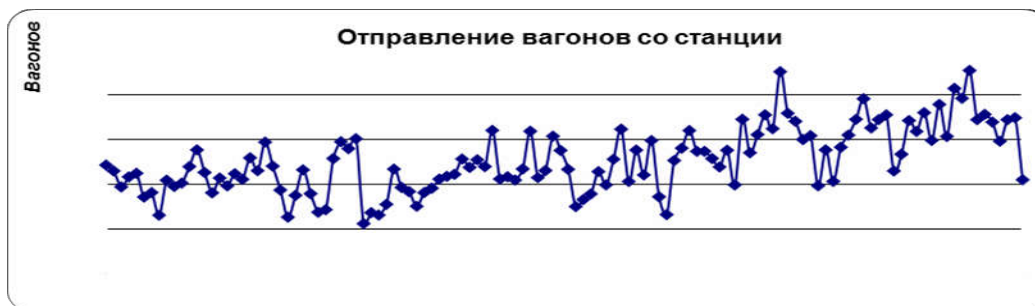


Рисунок 6 - Параметры вагонопотока с агрегированием за 3 суток,
 $H=0.71$

При этом показатели Херста (H) соответственно равны 0,18 и 0,71. То есть становится практически возможным прогнозировать показатели и выполнять планирование (объемов, затрат др.) только «с шагом 3».

Анализ показал, что в случае возникновения ВР, сходных с рис. 5, рис. 6, процедура агрегирования уровней позволяет дифференцировать процессы с разными периодами обобщения, при которых становится возможным выполнять прогнозирование, то есть получить и использовать значения прогнозируемых параметров именно для таких обобщенных ВР и определенных ими периодов.

Выводы

Приведенный анализ и результаты исследования состояния и перспектив развития и долгосрочного применения системы АСВ ВП УЗС свидетельствуют об актуальной потребности внедрения в системе унифицированных интеллектуальных средств поддержки процессов принятия решений. Для реализации такого проекта предлагается создание дополнительного комплекса АСУ ГП УЗЕ в виде аналитических серверов. Одним из механизмов, который может эффективно использоваться в аналитических серверах может быть разработанная процедура анализа агрегированных временных рядов, которая обеспечивает возможности обоснованной интерпретации их дополнительных свойств и получения достоверных оценок для прогнозирования и планирования исследуемых процессов. Результаты разработок обеспечивают возможность автоматизации и повышения эффективности процессов технологического-экономического управления сложными системами в условиях недетерминированных параметров железнодорожных процессов и систем. Представленные результаты исследований направлены на создание элементов интеллектуальных автоматизированных систем, аналитических серверов, обеспечивающих управление недетерминированными и антиперсистентными технологическими процессами железнодорожного транспорта на основе данных представленных временными рядами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великодный В.В. Компонентно-ориентированное программирование в разработках интегрированной среды автоматизированной системы управления железнодорожного транспорта Украины / В.В. Великодный, И.В. Жуковичкий, В.В. Скалзуб и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2005. – № 5. – С.63-68.

2. Жуковицький І.В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / І.В. Жуковицький, В.В. Скалозуб, А.Б. Устенко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – С.28-34

3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. - М.: Интернет-трейдинг, 2004. - 304 с.

4. Демарк Т. Технический анализ – новая наука. – 286 с. // www.xerurg.ru

5. Клименко И.В. К вопросу автоматизации анализа и оперативного прогнозирования параметров грузовых железнодорожных перевозок / И.В. Клименко // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2010: Тез. Докл. Международн. научн. конф. – Д.: ДНУЖТ, 2010. – С. 170 – 171.

6. Нечай В.Я. О применении методов хаотической динамики для исследования свойств вагонопотоков / В.Я. Нечай, А.В. Нечай // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2010: Тез. Докл. Международн. научн. конф. – Д.:ДНУЖТ, 2010. – С. 177 – 178.

7. Скалозуб В.В. Оценка и прогнозирование параметров временных рядов вагонопотоков на основе специализированной процедуры фрактального анализа / В.В. Скалозуб, И.В. Клименко // Наук. Вісник Херсонського держ. ун-ту, серія Економічні науки. Вип. 20. Частина 2. - Херсон, 2016. - С. 189 – 192.

8. Скалозуб В.В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологічно-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки / В.В. Скалозуб, И.В. Клименко // Економіка: реалії часу. № 4 (26), 2016. – С. 82 – 90.

І.В. Стовпченко, М.М. Колотило

МЕТОДИ WEB MINING ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СОЦІАЛЬНИХ ГРУП

Анотація. В роботі проводиться аналіз методів Web Mining, пропонується структура веб додатку для аналізу та візуалізації соціальних груп в мережі Twitter.

Ключові слова: web mining, соціальні групи.

Вступ

Необхідність автоматичного аналізу інформації з Інтернету викликана її високою доступністю великої кількості, яка постійно поповнюється інформацією, а також зростаючою популярністю веб-послуг серед усіх категорій користувачів. Розвиток мережі Інтернет в глобальну інформаційну структуру дозволило звичайним користувачам бути не тільки споживачами інформації, але й ще її творцями та розповсюджувачами. Тому для більш ефективного вирішення завдань пошуку, аналізу та структурування інформації в мережі, яка в основному є хаотично організованою, створений новий напрямок в методології аналізу даних - Web Mining.

Цей напрямок розвивається на перетині таких дисциплін як виявлення знань в базах даних, ефективний пошук інформації, штучний інтелект, машинне навчання та обробка природних мов.

Завдання Web Mining

Пошук інформації. Для знаходження необхідної інформації користувачі зазвичай користуються пошуковими ресурсами. При цьому вони часто використовують прості запити за ключовими словами. Результатом виконання запиту є список сторінок, відсортованого за індексом релевантності, що описує ступінь збігу результату із запитом, але існуючі пошукові механізми мають недоліки. Основним з них є низька точність результату, викликана недостатнім урахуванням семантичних зв'язків і контексту знайдених в тексті виразів. Індиксація цікавих сегментів мережі з використанням інтелектуального аналізу даних, що застосовує алгоритми

математичної лінгвістики та обробки природних мов, є перспективним напрямком в області Web Mining.

Аналіз структури сегмента мережі. Цей метод полягає в аналізі структури посилань між різними веб-сторінками, внутрішніми та зовнішніми сайтами в виділеному мережевому сегменті.

Виявлення знань з веб-ресурсів. Це завдання перетинається з уже описаною проблемою пошуку інформації. Тільки тут у дослідника вже є набір веб-сторінок, отриманих в результаті запиту. Далі треба провести їх обробку з точки зору автоматичної класифікації, складання змістів, виявлення ключових слів і загальних тем. Виявлені знання можуть представлятися у вигляді дерев або графів, що описують структури документів або у вигляді логічних і семантичних виразів. Рішення частини цих проблем пропонує Text Mining - технологія автоматичного вилучення знань у великих обсягах текстового матеріалу, що заснована на поєднанні лінгвістичних, семантичних, статистичних та машинних методик.

Пошук шаблонів в поведінці користувачів. Метою є пошук закономірностей в шаблонах взаємодії користувача з веб-ресурсом з метою прогнозування його наступних дій. Аналізовані дії можуть включати не тільки переходи по посиланнях, але і відправку форм, прокрутку сторінок, додавання в обрані сторінки тощо. Знайдені шаблони використовуються в подальшому для оптимізації структури сайту, вивчення цільової аудиторії та для прямого маркетингу.

Дослідження соціальних груп

Social Mining – застосування методів і алгоритмів Data Mining для пошуку і виявлення залежностей і знань в соціальних мережах. Найбільш часто використовуваний засіб для аналізу і візуалізації в даній області - це граф, де вузлами є люди або групи, а дуги показують взаємини (зв'язки) або потоки інформації між вузлами.

Соціальну мережу можна уявити як «велику систему», яка має свої властивості. Як єдине ціле вона здатна взаємодіяти з навколишнім середовищем і реагувати на зовнішні процеси, що відбуваються (рисунок 1). З іншого ж боку, мережа складається з окремих елементів, їх зв'язків, властивостей і взаємин, що функціонують відповідно до певних закономірностей.



Рисунок 1 - Взаємодія соціальної мережі з навколишньою середою

Усередині соціальної мережі утворюються різні групи і спільноти за інтересами, наприклад, любителів музики, автомобілів, навчання, роботи. Зв'язки між учасниками таких об'єднань досить сильні, що дозволяє їх легко ідентифікувати. Розглянемо рисунок 2, де зображений приклад описаної ситуації. Усередині групи між учасниками зв'язків більше і вони сильніше, ніж з іншими членами соціальної мережі. У складі спільнот можуть з'являтися підгрупи, таким чином утворюючи ієрархію (на рисунку 2 таке можна спостерігати в групі 1).

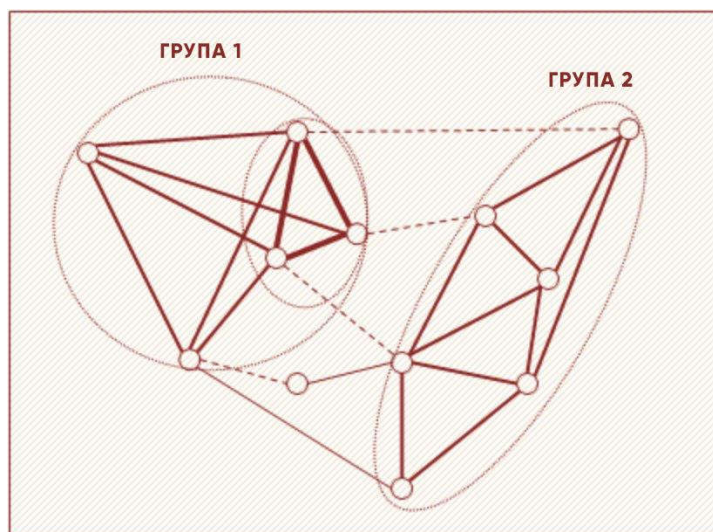


Рисунок 2 - Групи всередині соціальної мережі

Аналіз соціальної мережі Twitter

В рамках роботи створюється система для аналізу та візуалізації даних соціальних груп, яка застосовується до соціальної мережі Twitter.

Twitter - досить популярна соціальна мережа, деякий мікроблог, де люди пишуть свої думки з приводу подій у зовнішньому світі та коментують один одного. Застосувавши методи

Web Mining для цього мікроблогу, можна, наприклад, дослідити реакції жителів конкретних регіонів на конкретні події в світі, кластеризувати їх, побудувати граф взаємовідносин між ними тощо. На рисунку 3 продемонстровано загальну структуру та процес роботи додатку для обробки даних соціальної мережі Twitter. Можна побачити що дані із ВЕБ отримуються модулем отримання даних (у нашому випадку це - скрипт, що звертається до публічного API Twitter'у кожні 15 хвилин тому, що Twitter лімітує можливу кількість запитів до свого API за певний період часу, та записує дані у базу даних), обробляються модулем обробки даних (скрипт аналізує зв'язки між зібраними користувачами, будує лінії “дружби” та записує у файл в спеціальному форматі) та на даному етапі візуалізуються за допомогою додатку Gephi.



Рисунок 3 - Схема роботи додатку

На рисунку 4 зображений соціальний граф після первинної візуалізації.

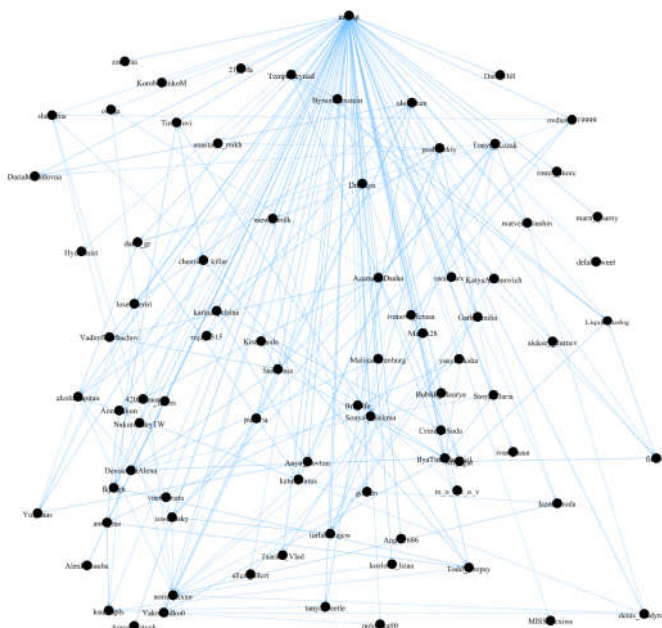


Рисунок 4 - Мій соціальний граф мережі Twitter

Таким чином ми отримуємо інструмент для аналізу та дослідження соціальних груп у режимі онлайн.

Висновки

Web Mining є новим перспективним напрямком аналізу інтернет-ресурсів для оптимізації структури веб-сайтів, отримання знань про відвідувачів сайту, опису соціальних мереж і спільнот, а також для автоматичного пошуку і структуризації інформації з інтернету.

В подальшому на основі поточної роботи планується створити веб-ресурс що дає змогу проводити аналіз соціальних груп мережі Twitter.

ЛІТЕРАТУРА

1. Градосельская Г. В. Сетевые измерения в социологии: Учебное пособие. М.: Изд. Дом «Новый учебник», 2004
2. Давыдов А. А. Системная социология: Social Networks Mining. М.: ИС РАН, 2009.
3. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Юнюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. - М.: Финансы и статистика, 1989.
4. Knowledge Discovery Through Data Mining: What Is Knowledge Discovery" - Tandem Computers Inc., 1996.
5. Дюк В.А. Обработка данных на ПК в примерах. - СПб: Питер, 1997.

Т.В. Селівьорстова, А.С. Мирошніченко

**ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ СУСІДСТВА
ДЛЯ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГИЛЬОТИННОГО РОЗКРОЮ**

Анотація. Проведено дослідження алгоритмів вибору сусідства для неорієнтованого гильотинного розкрою з метою визначення їхньої ефективності.

Ключові слова: гильотинний розкрій, сулідство елементів, next fit decreasing high, first fit decreasing hig, щільність упаковки.

Постановка проблеми

Завдання раціонального розкрою матеріалів давно привертають увагу дослідників і практиків. У загальному вигляді ці завдання можна сформулювати наступним чином: є матеріал заданих розмірів (дошки, труби, листи, рулони і т.і.) В обмеженому або необмеженій кількості, а також замовлення на розкрій, що представляє собою перелік деталей із зазначенням форм, розмірів і необхідної кількості кожного типу деталей. Завдання поділяються на завдання лінійного, плоского і тривимірного розкрою. Завдання лінійного розкрою вивчені добре, і для багатьох практично важливих випадків відомі методи, що дають точне рішення. Для задач же плоского і тривимірного розкрою ситуація набагато гірша.

Аналіз останніх досліджень

Завдання розкрою-упаковки належить до класу NP-важких задач, тобто для її точного рішення не існує алгоритму полиномиальної складності. Більш того, дана задача є NP-важкою в сильному сенсі, так як містить NP-важкі завдання як підзадачі. До сих пір не розроблено ефективних і досить точних способів розрахунку нижніх меж для даної задачі, що дозволяють визначити досягнення оптимуму. Таким чином, точні алгоритми зводяться до повного перебору варіантів. У зв'язку з цим, використання точних алгоритмів для вирішення задачі розкрою-упаковки часто виявляється недоцільним і неможливим через великі витрат часу. Тому велике значення приділяється розробці і дослідженню евристичних методів

оптимізації. Одним з перспективних напрямків є розробка метаевристических алгоритмів, заснованих на відомих метаевристических підходах, з успіхом використовуються для вирішення багатьох завдань дискретної оптимізації. Для більшості метаевристик доведена їх асимптотичне збіжність, що є важливим аргументом на користь їх активного використання.

Для offline задачі двовимірної упаковки у напівобмежену полосу (2-Dimensional Strip Packing, 2DSP) відразу відомий розмір всіх прямокутників, що упаковуються, тому їх можна відсортувати, вибрати за певним критерієм, згрупувати або просто натякають в відповідні місця. Плоскі алгоритми розміщують прямокутники строго впритул один до одного, але це не найвдаліша стратегія, як може здатися на перший погляд. Рівневі ділять смугу на рівні, рівні по висоті одному з вибраних прямокутників, і поміщають всі інші на конкретний рівень за певним критерієм. Шельфові зумовлюють відразу кілька шельфів (полиць), і розпихають по них прямокутники, така поведінка характерна для online-алгоритмів.

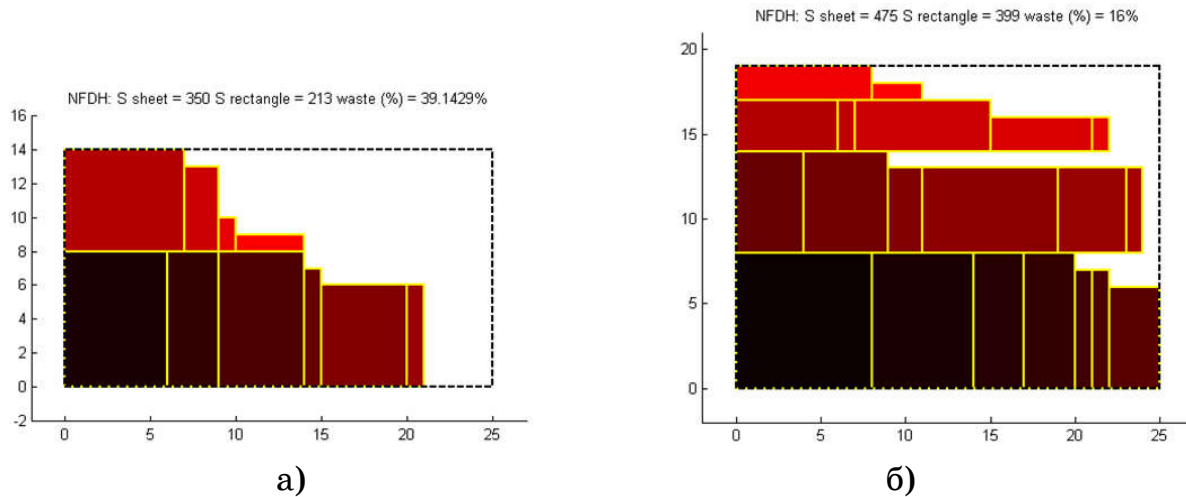
Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Провести дослідження алгоритмів вибору сусідства Next Fit Decreasing High та First Fit Decreasing High для неорієнтованого гильотинного розкрою з метою визначення їхньої ефективності по критерію мінімізації відходів.

Основна частина

Розглянемо деякі евристичні алгоритми призначені для розв'язку offline-2DSP.

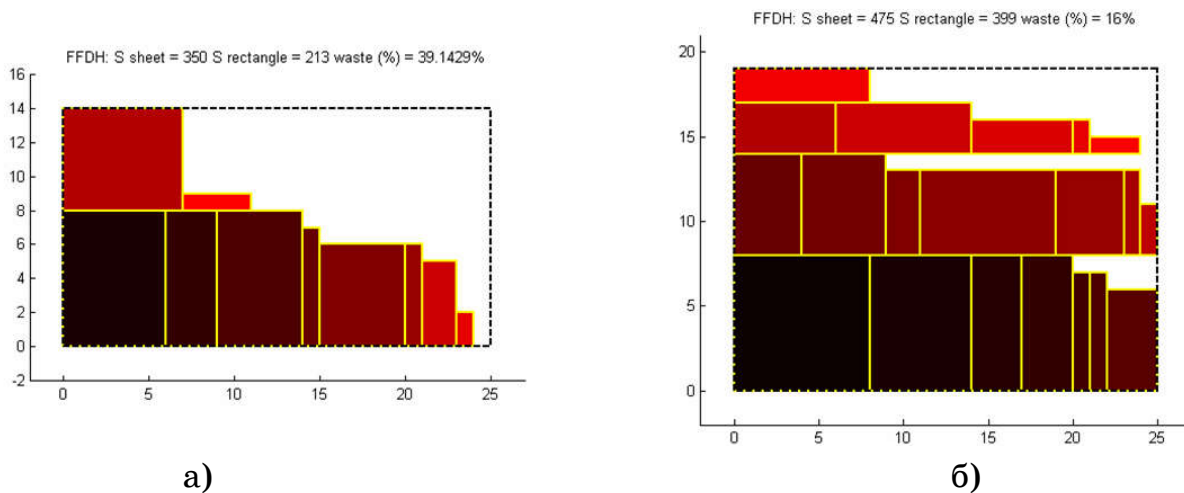
Алгоритм Next Fit Decreasing High. Прямокутники упорядковано по зростанню висоти (Decreasing High натякає), найвищий розташовується в лівому нижньому кутку смуги, тим самим ініціалізувавши перший рівень, по висоті рівний йому. Решта прямокутники розташовуються зліва направо, поки є місце на поточному рівні. Прямокутник, який не помістився на рівні, поміщається зверху, утворюючи наступний рівень, і так далі (рисунок 1).



а) 10 елементів, б) 20 елементів

Рисунок 1 – Упаковка Next Fit Decreasing High

Алгоритм First Fit Decreasing High, схожий на попередній алгоритм, з тією різницею, що для кожного наступного прямокутника шукається місце не тільки на останньому рівні, а починаючи з самого нижнього (рисунок 2). Звідси й «first fit» - прямокутник поміщається на перший підходящий рівень знизу. Інтуїтивно зрозуміло, що упаковка буде якісніше. Ще одна значна відмінність - в продуктивності, так як в гіршому випадку доведеться розглядати на кожному кроці всі рівні знизу вгору.

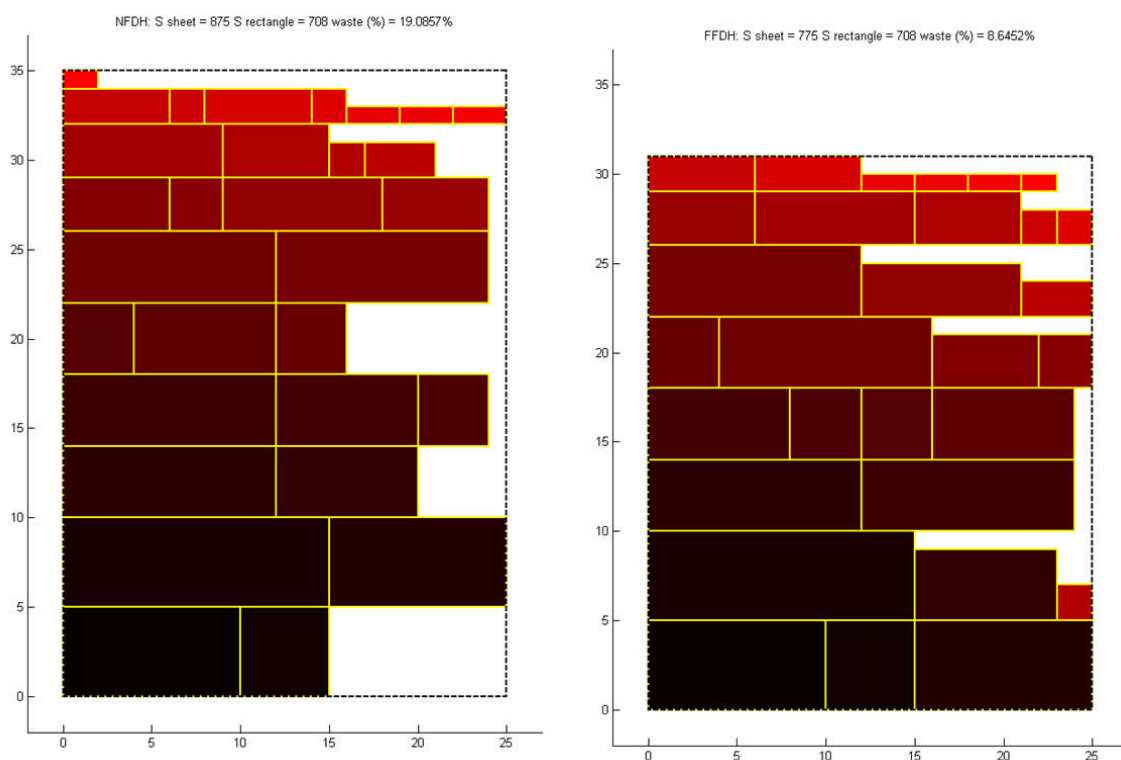


а) 10 елементів, б) 20 елементів

Рисунок 2 – Упаковка First Fit Decreasing High

Для дослідження відмінності роботи алгоритмів було проведено серію обчислювальних експериментів, результати одного з них наведено на рисунку 3. У данному випадку, при візуалізації упаковки важливу роль грає колір елемента, чим елемент темніше, тим його

висота більша. Світлим кольором позначені низькі елементи. Цей підхід допомагає наглядно відобразити момент «провалювання» елементів на нижні рівні при роботі алгоритму FFDH.



а) Nextt Fit Decreasing High (NFDH), б) First Fit Decreasing High (FFDH)

Рисунок 3 – Упаковка

Таблица 1

Порівняння роботи алгоритмів NFDH та FFDH

№ /	Алгоритм	NFDH	FFDH
1 / 40 елементів Переважають пря- мокутники	Площа листа, од.2	900	825
	Площа прямокутників, од.2	715	715
	Площа вільного місця, %	20.6	13.4
2 / 40 елементів Переважають пря- мокутники	Площа листа, од.2	775	770
	Площа прямокутників, од.2	697	697
	Площа вільного місця, %	10.1	7.1
3 / 40 елементів Переважають квад- рати	Площа листа, од.2	1150	1125
	Площа прямокутників, од.2	1029	1029
	Площа вільного місця, %	10.5	8.5
4 / 40 елементів Переважають квад- рати	Площа листа, од.2	1125	1075
	Площа прямокутників, од.2	934	934
	Площа вільного місця, %	17.0	13.1

Дані обчислювальних експериментів свідчать про те, що якість упаковки сильно залежить від наборів вхідних даних, проте зазвичай квадратні елементи дають більш щільну упаковку у порівнянні з прямокутними.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На підставі проведених обчислювальних експериментів можливо зробити висновок про ефективність алгоритму FFDH у порівнянні з NFDH. Перспективним напрямком даного дослідження є вивчення та програмна реалізація гібридних алгоритмів упаковки.

ЛІТЕРАТУРА

1. B.S. Baker, D.J. Brown, and H.P. Katseff. A $5/4$ algorithm for two-dimensional packing. *Journal of Algorithms*, 2:348--368, 1981.
2. J.O. Berkey and P.Y. Wong. Two dimensional finite bin packing algorithms. *Journal of Operational Research Society*, 2:423--429, 1987.
3. A. Lodi and S. Martello and D. Vigo. Neighborhood search algorithm for the guillotine non-oriented two-dimensional bin packing problem. In S. Voss and S. Martello and I.H. Osman and C. Roucairol, editors, *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for optimization*, pages 125--139. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.
4. A. Lodi and S. Martello and D. Vigo. Approximation algorithms for the oriented two-dimensional bin packing problem. *Journal of Operational Research Society*, 112:158--166, 1999.
5. A. Lodi and S. Martello and D. Vigo. Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems. *INFORMS Journal on Computing*, 11:345--357, 1999.
6. I. Schiermeyer. Reverse-fit: A 2-optimal algorithm for packing rectangles. In *Proceedings of 2nd European Symposium on Algorithms*, pages 290--299, Utrecht, The Netherlands, August 1994.
7. A. Steinberg A strip-packing algorithm with absolute performance bound 2. *SIAM Journal on Computing*, 9:401--409, 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

Алпатов А.П.

Информационные модели и технологии борьбы с антропогенным загрязнением ближнего космоса 3

Брилев А.А., Островская Е.Ю.

Методы валидации транзакций при построении блокчейн 15

Булах В.А., Кириченко Л.О., Радивилова Т.А.

Классификация мультифрактальных стохастических временных рядов с использованием мета-алгоритмов на основе деревьев решений 22

Волковський О.С., Ковилін Є.Р.

Компьютерная система автоматического анализа промышленных инструкций 28

Дмитрієва І.С., Мусна Ю.М.

Дослідження існуючих підходів до вирішення задачі розпізнавання графічних образів 38

Мазурок Т.Л.

Інформаційна модель інтелектуального управління системою адаптивного навчання 45

Михалев А.И., Стенин А.А., Шитикова И.Г., Лемешко В.А.

Интеллектуальная мультиагентная система формирования предметно-ориентированной эволюционной модели знаний 57

Омельчук А.А., Сафьяник О.О., Березкін І.С., Павлов П.М.

Математичне і програмно-апаратне забезпечення тренажерної установки з просторовими приводами руху 64

Царик В.Ю., Михальов О.І.

Інформаційно-синергетичні методи в задачах Text Mining 72

Гнатушенко В.В., Сизов О.С., Кавац О.О.

Дослідження використання графових моделей при відображенні даних у інформаційному просторі 81

Гоман О.Г., Катан В.А., Клим В.Ю.

Моделирование ударного взаимодействия рабочих элементов гидродинамических аппаратов с жидкостью 88

Фролова Л.А., Анісімова Л.Б.Моделювання рівноваги в системі $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O} - \text{OH}^-$ 96**Балакин В.Ф., Перчаник В.В., Богдан Д.А.,****Угрюмов Ю.Д., Кадильников С.В.**

Пути развития процессов горячей прокатки труб 104

Недашківський Є.А., Баклан І.В.

Модель часового ряду з фрактальною структурою 110

Бахрушин В.Є.

Розподіл бюджетного фінансування у вищій освіті, як проблема багатокритеріального прийняття рішень 118

Жульковская И.И., Жульковский О.А.

Современные средства повышения точности результатов математического моделирования..... 125

Журба А.О., Журба Д.І.

Фрактальна сегментація зображень для дослідження природних об'єктів та поверхонь..... 131

Литвиненко О.І.

Когнітивно-графічний метод конструювання базисів триквадратичних серендипових скінченних елементів 138

Поляков М.А., Андриас И.А.

Теоретико-множественные модели функциональных структур гибридных автоматов систем управления 146

Скалозуб В.В., Жуковицкий И.В., Клименко И.В., Заец А.П.

Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в единой автоматизированной системе управления грузовыми железнодорожными перевозками Украины..... 153

Стовпченко І.В., Колотило М.М.

Методи Web Mining для дослідження соціальних груп 163

Селівьорстова Т.В., Мирошниченко А.С.

Дослідження алгоритмів вибору сусідства для неорієнтованого гильотинного розкрою 168

УДК 629.78

Алпатов А.П. **Інформаційні моделі і технології боротьби з антропогенне забруднення бліжнео космоса** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.3 - 14.

Результати відображають можливість зміни концепції боротьби з забрудненням навколоземного космічного простору. Виконано короткий аналіз різних аспектів інформаційного моделювання та боротьби із забрудненням навколоземного космічного простору, включаючи різні методи запобігання утворенню фрагментів сміття антропогенного походження. Сформульовано наукові задачі, включаючи ентропійний підхід до моделювання процесів розвитку хмари космічного сміття, а також запропоновано нову концепцію його утилізації.

Бібл. 22, іл. 2.

УДК 004.8

Брильов А.А., Островська К.Ю. **Методи валідації транзакцій при побудові блокчейн** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.15 - 21.

Описано основні риси технології блокчейн, принципи її програмної розробки. Проаналізовано деякі аспекти програмного створення блокчейна, розглянуті можливі способи реалізації перевірки транзакцій, описаний метод, застосований в біткойнів.

Бібл.7, рис.3.

УДК 519.2:004.9

Булах В.А., Кіріченко Л.О., Радівілова Т.А. **Класифікація мультифрактальних стохастичних часових рядів з використанням мета-алгоритмів на основі дерев рішень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.22 - 27.

У роботі проведено порівняльний аналіз класифікації мультифрактальних стохастичних часових рядів з використанням мета-алгоритмів Баггінг і Випадковий ліс. У кожному методі були задіяні ансамблі дерев рішень класифікації та регресії. В якості вхідних даних використані реалізації біноміальних мультиплікативних стохастичних каскадів.

Бібл.13, рис. 1, табл.1.

УДК 004.738.52

Волковський О.С., Ковилін О.Р. **Комп'ютерна система автоматичного аналізу промислових інструкцій** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.28 - 37.

Реалізована прикладна комп'ютерна модель текстової промислової інструкції. На основі проведених досліджень створена програмна система автоматичного аналізу промислових інструкцій.

Библ. 11, табл. 1, рис.4.

УДК 004.9

Дмитрієва І.С., Мусна Ю.М. **Дослідження існуючих підходів до вирішення задачі розпізнавання графічних образів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.38 - 44.

В роботі було проведено дослідження існуючих підходів до вирішення задачі розпізнавання графічних образів, їх класифікації. Запропоновано для задачі розпізнавання текстових символів, як графічних образів, застосувати підхід з використанням мережі Байєса.

Бібл. 3, ілл. 2.

УДК 681.335:004.891

Мазурок Т.Л. **Інформаційна модель інтелектуального управління системою адаптивного навчання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.45 - 56.

Проаналізовано особливості інформаційного забезпечення автоматизованої системи управління адаптивним навчанням. Сформовано інформаційну модель у вигляді необхідної та базової складової частини інформаційного забезпечення, за допомогою якої є можливим інтелектуальне управління взаємозв'язком між системою міжпредметних зв'язків та системою компетенцій, що формуються. Надано схеми визначення коефіцієнтів інтеграції в залежності від особливостей процесу планування навчання.

Бібл. 8, іл. 2.

УДК 004.822

Михальов О.І., Стенін О.А., Шитікова І.Г., Лемешко В.А. **Інтелектуальна мультиагентна система формування еволюційної моделі знань предметної області** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.57 - 63.

В даній статті запропонована модель інтелектуальної мультиагентної системи формування предметно-орієнтованої еволюційної моделі знань і методи її побудови за допомогою логічної оцінки одержуваних даних з нейронної мережі з нейронами, що володіють пам'яттю і інтегральною логікою. Запропоновано оригінальний метод реалізації логіки на основі генетичного алгоритму, який обробляє поповнювану базу знань і вдосконалює кожне наступне покоління «генів» за допомогою зважування семантичних даних на основі суперпозиції еталонної реакції на ситуацію і оцінки ситуації поточним поколінням «генів».

Бібл.7, Іл.1.

УДК 629.3.018.2

Омельчук А.А., Сафьяник О.О., Березкін І.С., Павлов П.М. **Математичне і програмно-апаратне забезпечення тренажерної платформи з просторовими приводами руху** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.64 - 71.

У статті розглянуто програмно-апаратне забезпечення тренажерної установки для підготовки фахівців транспортної галузі. Визначено алгоритм розв'язання задач про по-

ложення, швидкості та прискорення ланок мехатронної системи графічним і аналітичним методом. Розроблено повнорозмірну геометричну модель тренажерної платформи з симуляцією руху, за допомогою контролера Motion Capture, у середовищі Autodesk 3D Max.

Библ. 5, ил. 7.

УДК 004.048

Царик В.Ю., Михальов О.І. **Інформаційно-синергетичні методи в задачах Text Mining** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.72 - 80.

Досліджується застосування інформаційно-синергетичних методів для аналізу текстових даних. Запропоновані методи аналізу текстів, довжина яких менша, чим характеристична довжина для даної мови. Проаналізовано ряд літературних творів, написаних російською та українською мовами з використанням функцій відображення (R) та розвитку (D). Запропоновано використання комплексного критерію K, що об'єднує в собі значення функцій R і D. Показано можливість застосування синергетичного підходу до аналізу різних дискретних систем з кінцевою множиною елементів.

Бібл. 6, рис. 2, табл. 3.

УДК. 004

Гнатушенко В. В., Сизов А.С., Кавац А.А. **Исследование использования графовых моделей при представлении данных в информационном пространстве** / В.В. Гнатушенко, А.В. Сизов, А.А. Кавац // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.81 - 87.

Исследована эффективность использования теории графов при визуализации данных в виртуальном пространстве и выявлено, что применение этих методов позволяет уменьшить сложность анализа и управления информацией за счет наглядного представления.

Библ.16, ил.5.

УДК 532.59

Гоман О.Г., Катан В.А., Клим В.Ю. **Моделювання ударної взаємодії робочих елементів гідродинамічних апаратів із рідиною** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.88 - 95.

Запропонована модель ударної взаємодії плоского робочого елементу гідродинамічного апарату з вільною поверхнею рідини. Задача про ударну взаємодію рідини та похилої пластинки зведена до крайової змішаної задачі для деякої функції комплексної змінної, яка пов'язана із комплексним потенціалом течії. Задача про визначення зони відриву течії за ударної взаємодії рідини та похилої пластинки зведена до розв'язання трансцендентного рівняння відносно координати початкової точки відриву з використанням формул Адамара – Манглера. Визначені положення зон інерційного відриву течії, гідродинамічні розподіленні та сумарні характеристики пластинки для широкого діапазону кутів нахилу пластинки до вільної поверхні рідини. Нова модель ударної взаємодії може використовуватись на етапах проектування та розрахунку робочих режимів конструктивних елементів.

Библ. 10, ил. 4.

УДК 542.938.

Фролова Л.А., Анісімова Л.Б. **Моделирование равновесия в системе $Fe^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O-OH^-$** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.96 - 103.

Методами залишкових концентрацій, потенціометрії, вимірювання електропровідності досліджено систему $Fe^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O-OH^-$. Встановлено, що механізм взаємодії-дії між $FeSO_4$ і $NaOH$ залежить від вихідної концентрації ферум (II) сульфату, проходить у дві стадії з утворенням спочатку основної солі і потім гідроксиду.

Бібл. 12, іл.4.

УДК 621.771

Балакін В.Ф., Перчаник В.В., Богдан Д.А., Угрюмов Ю.Д., Кадильников С.В. **Шляхи розвитку процесів гарячої прокатки труб** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.104 - 109.

Розглянуто питання використання різних процесів гарячої прокатки труб з урахуванням умов в Україні. Запропоновано напрями вдосконалення окремих процесів для діючих трубопрокатних агрегатів.

Бібл. 4.

УДК 004.67

Недашковский Е.А., Баклан И.В. **Модель временного ряда с фрактальной структурой** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.110 - 117.

В статье рассмотрено моделирование финансовых временных рядов с высокой степенью нелинейной изменчивости, которую часто демонстрируют фрактальные свойства. Рассмотрен алгоритм анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальной структурой.

Библ.13, ил.1.

УДК 378.3:519.816

Бахрушин В.Е. **Распределение бюджетного финансирования высшего образования, как задача многокритериального принятия решений** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.118 - 124.

Проанализированы некоторые вопросы реализации нового механизма бюджетного финансирования высшего образования. Показано, что проблему распределения финансирования между университетами можно рассматривать как задачу многокритериального принятия решений. Предложены возможные варианты некоторых показателей формулы распределения, предусмотренной Бюджетным кодексом.

Библ. 8.

УДК 004.43:004.222.3

Жульковская И.И., Жульковский О.А. **Современные средства повышения точности результатов математического моделирования** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.125 - 130.

Повышение точности арифметических операций за счет увеличения разрядности чисел является основным средством выполнения расчетов, критичных к округлениям. Проведенное исследование показывает возможности современных процессоров общего назначения и компиляторов языков высокого уровня поддерживать форматы повышенной точности для повышения эффективности математического моделирования в целом.

Библ. 10, табл. 4.

УДК 530.1

Журба А.А., Журба Д.И. **Фрактальная сегментация изображений для исследования природных объектов и поверхностей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.131 - 137.

В рамках статьи разработан и программно реализован метод фрактальной сегментации изображений с помощью группирования сегментов с подобной локальной фрактальной размерностью и отображение их отдельным цветом.

Библ. 3, ил. 5.

УДК 004.92 : 519.6

Литвиненко Е.И. **Когнитивно-графический метод конструирования базисов трикватричных серендиповых конечных элементов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.138 - 145.

Когнитивно-графический метод построения иерархических форм базисных функций позволил получить альтернативные базисы с параметром на трикватричном конечном элементе серендипового семейства без добавления внутренних узлов. С помощью альтернативных базисов в работе усовершенствовано известную интерполяционную процедуру Тейлора и впервые получены новые "смешанные" пространственные элементы, которые эффективно используются на границе областей с разными градиентами вдоль координатных направлений.

Библ. 14, ил. 13.

УДК 621.314

Поляков М.А., Андриас И.А. **Теоретико-множественные модели функциональных структур гибридных автоматов систем управления** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.146 - 152.

Предложены модели функциональных структур гибридных автоматов систем управления в виде иерархической структуры контуров дискретного и непрерывного управления. Описаны типовые элементы этих функциональных структур – конечные автоматы, входные и выходные операционные автоматы. Входы и выходы этих элементов предложено разделить на две группы – информационные и управляющие. Приведен пример реализации гибридных автоматов с помощью предложенных моделей.

Библ. 6, ил. 6.

УДК 656.212.5: 581.3

Скалозуб В.В., Жуковичский И.В., Клименко И.В. **Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в единой автоматизированной системе управле-**

ния грузовыми железнодорожными перевозками Украины // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.153 - 162.

Предложен механизм создания элементов интеллектуальных систем поддержки принятия решений, который может эффективно использоваться в аналитических серверах АСУ грузовыми железнодорожными перевозками (АСУ ГП УЗЕ). Рассматриваются методы оперативного прогнозирования недетерминированных и антиперсистентных технологико-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе применения новых статистических методов анализа временных рядов, которые собираются системой АСУ ГП УЗЕ.

Библ. 8, ил. 7

УДК 004.8

Стовпченко І.В., Колотило М.М. **Методи Web Mining для дослідження соціальних груп** / І.В. Стовпченко, Н.М. Колотило // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.163 - 167.

В роботі проводиться аналіз методів Web Mining, пропонується структура веб додатку для аналізу та візуалізації соціальних груп в мережі Twitter.

Бібл. 5.

УДК 004.942: 519.1

Селиверстова Т.В., Мірошніченко А.С. **Исследование алгоритмов выбора соседства для неориентированного гильотинного раскроя** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (116). - Днепр, 2018. - С.168 - 172.

Проведено исследование алгоритмов выбора соседства для неориентированного гильотинного раскроя с целью определения их эффективности.

Библ. 7.

UDC 629.78

Alpatov A.P. **Information models and technologies for combating anthropogenous pollution of nearest space** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.3 - 14.

The results reflect the possibility of changing the concept of pollution control of near-Earth space. A brief analysis of various aspects of information modeling and the control of pollution of near-Earth space was carried out. including various methods for preventing the generation of fragments of anthropogenic origin. Scientific tasks have been formulated, including an entropy approach to modeling the processes of cloud debris development, and a new concept of its utilization has been proposed.

Refs.22, ill. 2.

UDC 004.8

Brilev A.A., Ostrovskaya E.Yu. **Methods of validation of transactions in construction of blokchein** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.15 - 21.

The main features of blockade technology, the principles of its software development are described. Some aspects of software creation of blocking are analyzed, possible ways of implementing transaction verification are discussed, the method used in bitcoin is described.

Bibl.7, pic. 3.

UDC 519.2:004.9

Bulakh V. A., Kirichenko L.O., Radivilova T.A. **Classification of multifractal stochastic time series using meta-algorithms based on decision tree** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.22 - 27.

A comparative analysis of the classification of multifractal stochastic time series using the meta-algorithms Bagging and Random forest was carried out. In each method, the ensembles of the decision trees of classification and regression were involved. Realizations of dino-mial multiplicative stochastic cascades were used as input data.

Ref.13, fig. 1, tab.1.

UDK 004.738.52

Volkovsky O.S., Kovylin E.R. **Computer system for automatic analysis of industrial instructions** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.28 - 37.

The applied computer model of the text industrial instruction is implemented. Based on the research, a software system for automatic analysis of industrial instructions has been created.

Lib. 11, table 1, fig. 4.

UDK 004.9

Dmytriieva I., Musna Y. **Examining existing approaches to solving the problem of pattern recognition** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.38 - 44.

In the work, a study was made of existing approaches to solving the problem of pattern recognition and classification. It is proposed for the task of recognition of text symbols, as graphic images, to apply the approach using the Bayesian network.

Bibl. 3, il. 2.

UDC 681.335:004.891

Mazurok T.L. **Intellectual conversion in realization synergetic model control** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.45 - 56.

Features of information support of the automatization control system of adaptive learning are analyzed. An information model has been created in the form of a necessary and basic component of information support, with the help of which it is possible to intellectual control the interrelationship between the system of intersubject links and the system of competences formed. Schemes for determining integration coefficients are presented depending on the specifics of the planning process.

Ref. 8, fig. 2.

UDC 004.822

Mikhalyov O., Stenin O., Shitikova I., Lemeshko V. **Intellectual multi-agent system for the formation of an evolutionary knowledge model of subject areas** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.57 - 63.

In this article, we propose a model of an intellectual multi-agent system for the formation of a subject-oriented evolutionary knowledge model and methods of its construction by means of a logical evaluation of the obtained data from a neural network with neurons possessing memory and integral logic. An original method for implementing logic based on a genetic algorithm is proposed, which processes the replenished knowledge base and improves each subsequent generation of "genes" by weighing the semantic data based on the superposition of the reference reaction to the situation and assessing the situation by the current generation of "genes".

Bibl.7, ill.1

UDC 629.3.018.2

Omelchuk A.A., Safyanyk A.O., Berezkin I.S., Pavlov P.M. **Mathematical, software and hardware of the training platform with spatial drives of motion** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.64 - 71.

The article considers the hardware and software of the simulator for training specialists in the transport industry. An algorithm for solving problems on the position, velocity, and acceleration of links in the mechatronic system by a graphic and analytical method is determined. A full-size geometric model of a simulation platform with motion simulation was developed using the Motion Capture controller in the Autodesk 3D Max environment

Bibl. 5, ill. 7.

UDC 004.048

Tsaryk V.J., Mikhalyov A.I. **Information-Synergetic Methods in Text Mining Problems** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.72 - 80.

The application of information-synergetic melodies for the analysis of text data is investigated. Methods for the analysis of texts, whose length is smaller than the characteristic length for this language, are proposed. A number of literary works written in Russian and Ukrainian languages were analyzed using the reflection (R) and development (D) functions. The use of the complex criterion K, which combines the values of the functions R and D, is

proposed. It is shown that a synergetic approach can be applied to the analysis of different discrete systems with a finite set of elements.

Bibl. 6, pic. 2, tables 3.

UDK 004

Gnatushenko V.V., Sizov O.S., Kavats A.A. **Research of graph data model usage in data visualisation in information space** / V.V. Hnatushenko, O.S. Sizov, A.A. Kavats // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.81 - 87.

Efficiency of graph theory in data visualisation in virtual space had been researched and found that usage of corresponding methods allows us to decrease complicity of information analysis and management at the expense of visualization.

Bibl. 16, ill. 5.

UDK 532.59

Goman O.G., Katan V.A., Klym V.J. **Modelling of impact interaction of the plane elements of gyrodynamic vehicle and free surface of fluid** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.88 - 95.

The mathematical model of impact interaction of a plane element of gyrodynamic vehicle and free surface is devoted. The problem of impact interaction of fluid and an inclined plate is reduced to a boundary value problem for some-function of complex variable which is associated with a complex potential of the flow. The problem of determining the position of the flow separation zone due to impact interaction of fluid and an inclined plate is reduced to the solution of the transcendental equation with respect to the coordinates of the initial point of separation using formulas Hadamard – Mangler. The positions of the inertial flow separation zones in the wide range of the angles for an inclined plate, distributed and total hydrodynamic characteristics of the plate have been found. The new model can be used in the steps of engineering design of elements of construction.

Lit.10, fig. 4.

UDK 666.291

Frolova L.A., Anisimova L.B. **Modeling of equilibrium in the system Fe^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O - OH^-** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.96 - 103.

The Fe^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O - OH^- system by the methods of residual concentrations, potentiometric, and electrical conductivity measurements was studied. It was found that the mechanism of interaction between FeSO_4 and NaOH depends on the initial concentration of ferrous sulfate. Passes in two stages to form first the basic salt and then the hydroxide.

Bibl. 12, il.4.

UDK 621.771

Balakin V.F., Perchanik V.V., Bogdan D.A., Ugryumov Yu.D., Kadilnikov S.V. **Ways of development of processes of hot pipe rolling** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.104 - 109.

The problems of using various processes of hot rolling of pipes as applied to conditions in Ukraine are considered. The directions of perfection of separate processes for operating tube-rolling units are proposed.

Bibl. 4.

UDK 004.67

Nedashkovsky E.A., Baklan I.V. **Time series modeling with fractal structure** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.110 - 117.

The article considers the modeling of financial time series with a high degree of nonlinear variability, which is often demonstrated by fractal properties. The algorithm of analysis and prediction of time series with a fractal structure is considered.

Библ.13, ил.1.

UDC 378.3:519.816

Bakhrushin V.E. **Distribution of Government Funding in Higher Education as the Problem of Multicriteria Decision-Making** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.118 - 124.

Some issues of new mechanism of the higher education government funding are analysed. It is shown, that the distribution of funding between Universities may be considered as a problem of multicriteria decision-making. The possible variants of some indicators for distribution formula, provided by Budget Code, are proposed.

Bibl. 8.

UDC 004.43:004.222.3

Zhulkovska I., Zhulkovskii O. **Modern means of increasing the accuracy of the results of mathematical modeling** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.125 - 130.

Increasing the accuracy of arithmetic operations by increasing the digit capacity is the main means of performing calculations that are critical to rounding. The study shows the capabilities of modern general-purpose processors and high-level language compilers to support high-precision formats to improve the efficiency of mathematical modeling in general.

Bibl. 10, tabl. 4.

UDC 530.1

Zhurba A.A., Zhurba D.I. **Fractal segmentation of images for the study of natural objects and surfaces** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.131 - 137.

Within the framework of the article, a method for fractal segmentation of images using a grouping of segments with a similar local fractal dimension and displaying them in a separate color has been developed and implemented programmatically.

Bibl. 8.

UDC 004.92 : 519.6

Litvinenko O.I. **Cognitive-graphic method for constructing of bases of triquadratic serendipity finite elements** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.138 - 145.

Cognitive-graphic method for constructing of hierarchical forms of basic functions allowed getting alternative bases with the parameter on triquadratic finite element of serendipity family without including the internal nodes. With the help of alternative bases the famous Taylor interpolation procedure has been improved in the work and new "mixed" space elements, which are effectively used on the boundary of areas with different gradients along coordinate directions, have been received for the first time.

Bibl. 14.

UDC 621.314

Poliakov M. A., Andias I.A. **The set-theoretic models of functional structures of hybrid control system automata** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.146 - 152.

Models of functional structures of hybrid automata of control systems are proposed in the form of a hierarchical structure of contours of discrete and continuous control. Typical elements of these functional structures are described: finite automata, input and output operational automata. Inputs and outputs of these elements are proposed to be divided into two groups - information and management. An example of the implementation of hybrid automata using the proposed models is given.

Bibl. 6, ill. 6.

UDC 656.212.5: 581.3

Skalozub V., Zhukovitsky I., Klimenko I. **Creation of intellectual decision support systems in a unified automated system for managing rail freight in Ukraine** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.153 - 162.

The mechanism of creation of elements of intellectual decision support systems is proposed, which can be effectively used in analytical servers by ASC of freight rail transportations (ACS UZE). The methods of operative forecasting of nondeterministic and antipersistent technological and economic processes of railway transport are considered on the basis of the application of new statistical methods of time series analysis that are collected by the ACSU UZE system.

Bibl. 8, ill. 7.

UDC 004.8

Stovpchenko I.V., Kolotilo N.M. **Methods of Web Mining for the Study of Social Groups** / I.V. Stovpchenko, N.M. Kolotilo // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.163 - 167.

In work the analysis of methods Web Mining is carried out, the structure of a web is additional is offered for the analysis and visualization of social groups in a network Twitter.

Bibl. 5.

UDC 004.942: 519.1

Seliverstova T.V., Miroshnichenko A.S. **Investigation of neighborhood choice algorithms for undirected guillotine cutting** // System technologies. N 3(116) - Dnipro, 2018.- P.168 - 171.

The study of neighborhood selection algorithms for unoriented guillotine cutting has been carried out to determine their effectiveness.

Bibl. 7.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Алпатов Анатолій Петрович - Член-кореспондент НАН України, професор, доктор технічних наук, Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ

Брилев Александр Алексеевич – магістр кафедри Інформаційних технологій і систем, НМетАУ.

Островская Екатерина Юрьевна – к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій і систем, НМетАУ.

Булах Віталій Анатольевич – аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Кириченко Людмила Олеговна – д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Радивилова Тамара Анатольевна – к.т.н., доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

Волковський Олег Степанович - доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Ковилін Єгор Романович - аспірант кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Дмитрієва Ірина Сергіївна - к.т.н., доц., доцент кафедри інформаційних технологій та систем Національної металургійної академії України.

Мусна Юлія Миколаївна - магістр кафедри інформаційних технологій та систем Національної металургійної академії України.

Мазурок Тетяна Леонідівна - завідувач кафедри прикладної математики та інформатики, д.т.н., проф., ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського» (м. Одеса).

Лемешко Вячеслав Анатольевич – аспірант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Шитикова Ірина Геннадіївна – науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного пространства НАН України, г.Київ.

Стенін Олександр Африканович – д.т.н., професор кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Михалев Александр Ильич – д.т.н., професор, завідувач кафедри Інформаційних технологій і систем, НМетАУ.

Омельчук Антон Анатолійович - к.т.н., ст. викладач, Херсонський національний технічний університет.

Сафьяник Александр Олегович - студент, Херсонський національний технічний університет.

Березкін Іван Сергійович - студент, Херсонський національний технічний університет.

Павлов Павло Миколайович - аспірант, Херсонський національний технічний університет.

Царик Владислав Юрійович – магістр з інформаційних управляючих систем та технологій, Національна металургійна академія України.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна - д.т.н., доцент, професор кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Сизов Олександр Сергійович - магістр кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Кавац Олена Олександрівна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Гоман Олег Гаврилович - д.ф.-м.н., професор кафедри аэрогидромеханики и энергомассопереноса Днепроовского национального университета имени Олеса Гончара.

Катан Владимир Александрович - к.ф.-м.н., доцент кафедры экономической кибернетики Днепроовского национального университета им.Олеса Гончара.

Клим Виктория Юрьевна - к.т.н., доцент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса Днепроовского национального университета имени Олеса Гончара.

Фролова Лілія Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри ТНРтаЕ, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Півоваров Олександр Андрійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри ТНРтаЕ, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Бутиріна Тетяна Євгенівна – к.х.н., доцент кафедри ТНРтаЕ, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Балакин Валерий Федорович – доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой технологического проектирования Национальной металлургической академии Украины.

Перчаник Виктор Владимирович – ведущий научный сотрудник НМетАУ, кандидат технических наук.

Богдан Дмитрий Алексеевич – директор по технологии и качеству ПАО «Интерпайп НТЗ».

Угрюмов Юрий Дмитриевич – старший научный сотрудник НМетАУ, кандидат технических наук.

Кадильников Святослав Витальевич – аспирант кафедры технологического проектирования НМетАУ.

Недашківський Євген Анатолійович – аспірант, асистент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Бахрушин Володимир Євгенович - д.ф.-м.н., професор, Запорізький національний технічний університет.

Жульковська Інна Іванівна - к.т.н., доцент, Дніпровський державний технічний університет, кафедра програмного забезпечення систем.

Жульковський Олег Олександрович - к.т.н., доцент, Дніпровський державний технічний університет, кафедра програмного забезпечення систем.

Журба Анна Алексеевна – к.т.н., доцент, доцент кафедри информационных технологий и систем, НМетАУ.

Журба Дмитрий Иванович – аспирант кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Литвиненко Олена Іванівна – к.т.н., доцент кафедри вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університета.

Поляков Михаил Алексеевич - к.т.н., доцент кафедры автоматизации и электропривода, ЗНТУ.

Андриас Ирина Аркадиевна - к.т.н., доцент кафедры автоматизации и электропривода, ЗНТУ.

Скалозуб Владислав Васильович - Декан факультета технической кибернетики Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Жуковицкий Игорь Владимирович - заведующий кафедрой электронных вычислительных машин, профессор Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Клименко Иван Вікторович - ассистент кафедры компьютерных информационных технологий Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Заец Алексей Петрович - ассистент кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Колотило Никита Миксимович – магистр кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Стовпченко Иван Владимирович – старший преподаватель кафедры Информационных технологий и систем, НМетАУ.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна – к.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України

Мирошніченко Андрій Сергійович – студент групи КН901-11-М, магістр з комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національна металургійна академія України.