

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

1 (15)

Донецк – 2019

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 1 (15), 2019,
Донецк, ДонНТУ.

Представлены материалы по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики и вычислительной техники.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В. Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Мальчева Р. В., к.т.н., доц.

Ответственный секретарь: Воронова А. И.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.;

Зинченко Ю. Е., к.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.;

Миненко А. С., д.ф-м.н., проф.; Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.;

Федяев О. И., к.т.н., доц.; Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.

Рекомендовано к печати ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 2 от 22 марта 2019.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции

ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.

Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11

Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://infcyb.donntu.org>

© Донецкий национальный технический университет
Министерство образования и науки ДНР, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D-пространственной визуализации <i>Зори С. А., Аноприенко А. Я., Мальчева Р. В., Авксентьева О. А.</i>	5
Автоматизированная система переключения электропитания на резервный источник <i>Сивокобыленко В. Ф., Деркачѳв С. В.</i>	13
Автоматизированная система контроля и управления доступом на основе анализа биометрических параметров человека <i>Антипов Р. С., Мартыненко Т. В.</i>	21
Математическое моделирование возникновения транспортного затора <i>Зензеров В. И., Бельков Д. В.</i>	27
Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа <i>Перинская Е. В.</i>	34
Математическое моделирование термодинамических процессов в ограниченной сплошной среде <i>Тарабаева И. В., Перетолчина Г. Б.</i>	40
Медицинская информационно-аналитическая система с речевым управлением для анализа результатов операций <i>Федяев О. И., Бакаленко В. С.</i>	44
Применение математического моделирования для решения задачи повышения эффективности управления состоянием угольного пласта <i>Лазебная Л. А.</i>	49
Применение многопоточности при прогнозировании траектории движения в распределенном симуляторе тяжелой инженерной техники <i>Завадская Т. В., Койбаш А. А., Кривошеев С. В.</i>	53
Реализация алгоритмов шифрования с помощью машины Тьюринга <i>Добровольский Ю. Н., Ефименко К. Н.</i>	60
Синтез и исследование методами математического моделирования систем управления проветриванием выемочных участков угольных шахт <i>Чередникова О. Ю., Достлев Ю. С.</i>	65
<u>Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика»</u>	75

Информатика и вычислительная техника

УДК 004.92

Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D-пространственной визуализации

С. А. Зори, А. Я. Аноприенко, Р. В. Мальчева, О. А. Авксентьева
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

ik.ivt.rec@gmail.com, anoprien@yandex.ru, raisa.malcheva@yandex.ru, av@donntu.org

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению состояния, основных направлений и перспектив развития аппаратно-программных средств для повышения производительности синтеза и визуализации реалистичных изображений в системах 3D-пространственной визуализации.

Введение

Стремительное развитие компьютерной индустрии предопределяет необходимость обеспечения вычислительного процесса эффективной машинной графической визуализации, обеспечивающей для пользователей самый высокий уровень информативности и наглядности важнейших аспектов происходящих явлений и процессов. Основные направления исследований в этой области связаны с радикальным повышением производительности и реалистичности визуализации. Последнее десятилетие задачи реалистичной визуализации и генерации статических и динамических реалистичных изображений переходят на новый качественный уровень – объемную визуализацию [1-4].

Объемная визуализация позволяет повысить реалистичность погружения в виртуальную реальность и качество визуальных ощущений от взаимодействия с ней. К сферам применений объемной визуализации относятся как традиционные для компьютерной графики области, так и практически любые области научной, исследовательской и практической деятельности человека, потенциально требующие на сегодняшний день качественно нового уровня отображения результатов компьютерной симуляции и моделирования, степени погружения в виртуальную реальность и добротности визуальных ощущений от взаимодействия с ней [1-4].

Организация систем реалистичной объемной визуализации предусматривает принципиально новую организацию вычислительного процесса, отличную от стандартного графического 3D-конвейера, и применения специфических и высокозатратных методов синтеза и визуализации реалистичных изображений (таких, как объемная трассировка лучей и пр.). Это обуславливает обязательную современную аппаратную поддержку синтеза и визуализации на многоядерных центральных

процессорах, спецпроцессорах и графических мультипроцессорах в таких системах [1, 2], подтверждая, что повышение скорости и реалистичности синтеза в системах 3D-визуализации за счет эффективного построения архитектур средств их аппаратной поддержки является важной актуальной и перспективной задачей.

Основные способы организации систем 3D-пространственной визуализации

Основываясь на базовых классах устройств отображения 3D-контента и основных способах выполнения пространственного 3D-синтеза и визуализации [1-4], можно укрупненно выделить два основных способа организации систем отображения трехмерной информации в объемном виде (пространственной 3D-визуализации) – системы стереоскопической 3D-визуализации (3D-stereoscopic visualization) и системы пространственной объемной 3D-визуализации (3D-volumetric visualization) (рис. 1).

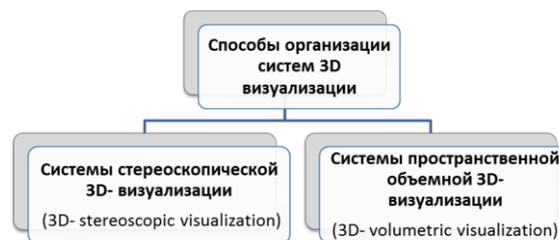


Рисунок 1 – Основные способы организации систем 3D-визуализации

Системы стереоскопической 3D-визуализации используют для 3D-синтеза и отображения объемных изображений принципы стереоскопии и стерео-компьютерные технологии. В настоящее время подавляющее большинство объемных трёхмерных

изображений пространственно визуализируется именно при помощи способа стереоскопической 3D-визуализации, как наиболее лёгкого и дешевого в реализации.

С точки зрения компьютерной графики процесс стерео 3D-визуализации представляет собой выполнение двойного рендеринга сцены – двух независимых и полностью идентичных процедур расчета проекций сцены на плоскость экрана для камер левого и правого глаза.

Полученная пара изображений – стереопара – в дальнейшем стандартизированными процедурами представления и вывода отображается на специальных стереоскопических 3D-дисплеях.

При этом процесс рендеринга полностью идентичен принятому в «классической» трехмерной графике. При использовании экранизации методами растеризации виртуальные изображения строятся как совокупность некоторых принятых стандартных простейших геометрических объектов (примитивов) - точек, отрезков прямых, ломаных, плоских многоугольников - полигонов (треугольник), окружностей, эллипсов, дуг окружностей, сплайнов, отображаемых на экране стерео- монитора. Очень важным моментом является то, что весь 3D-графический конвейер генерации единичного изображения стереопары де-факто стандартизирован на уровне аппаратно-программного обеспечения любого современного компьютера, что позволяет использовать аппаратные мощности параллельных графических процессоров для синтеза в реальном времени. При использовании для генерации единичных изображений методов класса трассировки лучей, которые позволяют получать фотореалистичное качество изображений, стандартный 3D-графический конвейер и стандартное аппаратно-программное обеспечение не может быть непосредственно применено для реализации синтеза и визуализации [1, 2, 5].

Принципиальное отличие **систем пространственной объемной 3D-визуализации** состоит в том, что здесь фактически не требуется выполнение проецирования сцены на плоскость экрана и выполнения традиционного набора процедур компьютерной трехмерной графики, а расчет сцены состоит по сути в создании дискретизированных объемно-пространственных моделей ее трехмерных объектов – визуальных воксельных объемных образов объектов сцены, которые в дальнейшем визуализируются на специализированных устройствах пространственного отображения – 3D-объемных дисплеях [1-3].

Для систем объемного отображения сегодня существуют и создаются соответствующие аппаратно-программные

комплексы (в основном параллельные системы) для расчета и выполнения сверхтрудоемких процедур объемного рендеринга. Так, один из признанных авторитетов в области качества визуализации, компания Fovia (<http://www.fovia.com/>), реализовала коммерческую библиотеку для объемного рендеринга High Definition Volume Rendering®, которая обеспечивает визуализацию в реальном времени для массива 64 гигавокселя [6, 7].

Таким образом, для получения физически-корректных и реалистичных визуальных результатов сегодня при построении компьютерных систем как пространственной объемной, так и стереоскопической 3D-визуализации, преимущественно используют методы рей-трейсинга:

– «классический» Ray-casting в системах «классической» компьютерной 3D-графики и стереоскопической 3D-визуализации;

– «объемный» Volume Ray-casting для организации объемного рендеринга в воксельных системах объемной 3D-визуализации.

Использование средств аппаратной поддержки для организации синтеза в системах 3D-визуализации

Без организации поддержки процессов синтеза и визуализации на уровне современной аппаратуры достижение требований реального времени в системах 3D-визуализации (системах отображения информации, СОИ) практически невозможно [1-8]. Основные направления повышения производительности СОИ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные направления повышения производительности СОИ

Основные направления повышения производительности	Возможное ускорение обработки
Общая организация системы в целом	1 – 2
Оптимизация алгоритмов и рациональное построение программного обеспечения в целом	1 – 2
Архитектура и технологическая база аппаратных средств системы	>10

Поэтому одной из важнейших проблем сегодня является повышение производительности систем визуализации за счет разработки и оптимизации архитектур этих систем.

Ведущим перспективным направлением повышения производительности вычислительных систем является массовое

параллельное выполнение вычислений и разработка соответствующей архитектуры аппаратных средств. Однородность операций в используемых алгоритмах позволяет относительно просто выполнять их на высокопроизводительных специализированных процессорах изображений и матричных процессорах с параллельной архитектурой.

На сегодняшний день в области практических реализаций аппаратного ускорения СОИ используют, в основном, два пути:

1. Аппаратное распараллеливание, реализованное через специализированные процессоры (специальные разработки «под систему», процессоры «не общего назначения»).

Это – дорогие, но вместе с тем максимально эффективные решения, использующие принцип архитектурной специализации – ориентация на конкретный класс задач достигается такой организацией структуры спец. процессора и вычислительного процесса в нем, которые максимально соответствуют специфике решаемой задачи.

2. Использование аппаратного обеспечения параллельных графических процессоров (GPU), ставших де-факто «стандартным» обеспечением мощных современных универсальных компьютеров, ориентированных на графические применения, а также параллельных GPU-кластеров.

Это наиболее распространенный практический вариант реализации на сегодняшний день – относительно не дорогой и доступный.

Рассмотрим более подробно особенности и некоторые примеры реализаций аппаратной поддержки СОИ по этим двум направлениям.

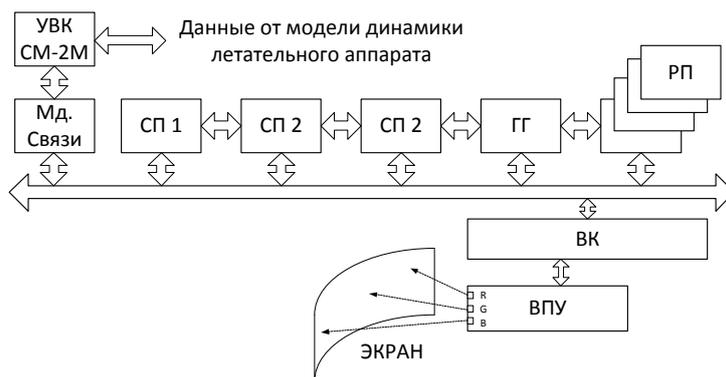


Рисунок 2 – Аппаратно-программный комплекс генерации изображений авиационного тренажера

Комплекс, для того времени, обладал высокими техническими характеристиками (16 разрядная архитектура, производительность одного спец. процессора около 10 млн. микрокоманд в секунду, растр 512x512/16 цветов, производительность – до 2 млн. графических примитивов в секунду) и обеспечивал решение исследовательских задач в

Особенности реализаций средств аппаратной поддержки в 3D-СОИ

1. Спецпроцессоры

Архитектуры таких специализированных процессоров, в основном, жестко ориентированы на определенный алгоритм или тип примитивов системы синтеза и визуализации изображений. Наряду с чисто параллельными вычислениями для повышения производительности применяются, также, конвейерная и гибридная организация вычислений. Направление усилий в сторону разработки новых аппаратных решений обуславливается, также, постоянным снижением стоимости и ростом степени интеграции СБИС [1, 3, 8-11].

Как правило, требуемая сверхвысокая производительность вычислительной подсистемы такого типа обычно достигается за счет параллельной обработки данных в режиме SIMD и/или конвейерной обработки в режиме MISD, известны примеры реализации систем на архитектуре MIMD.

Научно-исследовательские работы в этой области начиная с конца 70-х годов велись на факультете вычислительной техники и информатики Донецкого национального технического университета, когда был выполнен ряд разработок, связанных с созданием аппаратно-программного комплекса генерации изображений в реальном времени для исследовательского тренажера авиационной техники [10, 11], рис. 2.

процессе отработки полетных заданий и режимов работы летательных средств.

К успешным разработкам специализированных систем можно отнести и относительно «старые» мощные графические системы, такие как PIXEL-PLANES, PIXEL-POWER, LINE (СБИС, содержащая 512 параллельных C/FPU, реализующая алгоритм

трассировки лучей для создания динамических реалистичных изображений в режиме реального времени), специализированные графические рабочие станции на базе спец. процессоров Silicon Graphics POWER IRIS 4D/380VGX (16 RISC процессоров MIPS RS3000 с сопроцессорами FPU RS3010, разделяющих общую память), использующие многопроцессорность и параллельные архитектуры самого различного вида как инструмент глубокого распараллеливания процесса обработки информации на этапах синтеза и визуализации изображений для достижения требуемой производительности и качества (реальное время, приближающееся к фотографическому качеству) [12, 13].

В 2010 г. на выставке CeBIT команда разработчиков из университета Сазерленд продемонстрировала аппаратный видеоконтроллер SaarCOR, реализующий технологию трассировки лучей в реальном времени [14]. Аппаратной основой видеоконтроллера является одна микросхема FPGA Xilinx Virtex-II, в состав которой входят 150 18-разрядных аппаратных умножителей. На этой ПЛИС реализована параллельная 64-поточная подсистема трассировки лучей, поддерживающая до 256 источников света, интерфейс шины PCI, VGA-интерфейс и аппаратные средства оценки производительности в реальном времени. Сцену, состоящую из 187 млн. треугольников, SaarCOR визуализирует с использованием ускоряющей техники SubSampling с частотой 32 кадра в секунду, выполняя затенение и полное текстурирование деталей [14].

Компания Siliconarts из Южной Кореи, занимающаяся графическими технологиями, разработала спец. процессор RayCore для трассировки лучей в режиме реального времени [1]. RayCore 1000 позволяет значительно повысить эффективность алгоритмов параллельной трассировки и осуществлять трассировку лучей с графикой кинематографического качества, поддерживая архитектуру MIMD. Способствует этому наличие специальных блоков продвинутой системы кеширования памяти, поддержка специальных наборов команд и использование ускоряющих структур (рис. 3).

Данная архитектура способна обработать 36 млн. лучей в секунду на одно ядро, или 216 млн. на шесть ядер, и от 14 млн. до 24 млн. лучей на ядро в трехмерных сценах. Разработка может быть интегрирована в состав различных графических систем взамен блоков растеризации, предлагаемых сейчас такими компаниями, как ARM, Imagination Technologies или Vivante.

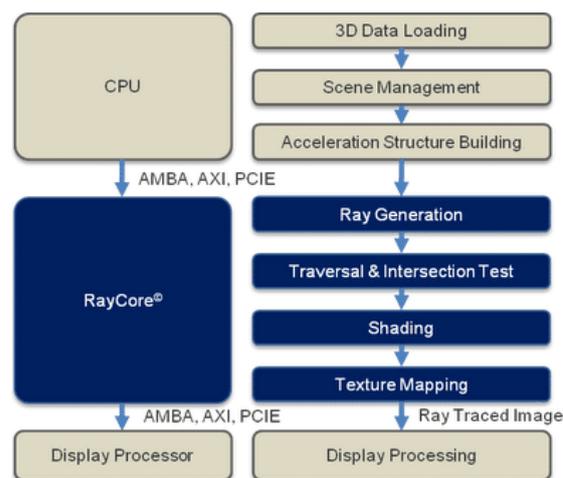


Рисунок 3 – Архитектура рейтрейсинг-системы со спецпроцессором RayCore

Многие исследователи отмечают, что вообще построение спец. процессоров для аппаратного ускорения трассировки лучей является «неблагодарным занятием». Дело в том, что алгоритм трассировки лучей – вычислительно сложный, и ускоритель рейтрейсинга – это почти что универсальный процессор, т. к. аппаратному ускорению хорошо поддаются потоковые алгоритмы без случайных ветвлений, а рейтрейсинг к таковым не относится. Зато трассировка хорошо распараллеливается по лучам – каждый луч можно рассчитывать независимо, что позволяет эффективно реализовать алгоритм на мультипроцессорных системах.

2. Графические процессоры и кластеры (GPU/GPC)

Особо популярным способом реализации аппаратного ускорения на параллельных вычислительных системах является использование технологий вычислений общего назначения на параллельных графических мультипроцессорах GPGPU (General-purpose graphics processing units – произвольные вычисления на видеокартах) [1-4, 9, 15], а также технологий гетерогенных (гибридных) вычислений с использованием разнородных вычислительных устройств - CPU + GPU.

При этом в качестве вычислений общего назначения могут выступать и задачи, связанные с компьютерной графикой, если они не ограничиваются использованием стандартного графического конвейера – например, метод трассировки лучей, являющийся одной из основных составляющих предложенной концепции организации синтеза и визуализации в 3D-СОИ.

Современный GPU – массивно-параллельный многоядерный процессор с высокой производительностью и пропускной способностью памяти, который хорошо подходит для решения многих классов вычислительно

трудоемких задач, и выгодным отношением производительности к цене и потребляемой мощности (рис. 4). Современные GPU имеют развитые средства программирования. В настоящее время производительность графических суперкомпьютеров на базе графических карт с GPU NVidia (Tesla K80 – 14 млрд. транзисторов, \$ 11.000) достигла более 8,7 Тф/с [16].

Возможности	Tesla K80 ¹
GPU	2x Kepler GK210
Пиковая производительность для вычислений двойной точности с плавающей точкой	2.91 терафлопс (ускоренная частота) 1.87 терафлопс (базовая частота)
Пиковая производительность для вычислений одинарной точности с плавающей точкой	8.74 терафлопс (ускоренная частота) 5.6 терафлопс (базовая частота)
Полоса пропускания памяти (без ECC) ²	480 Гбит/с (240 Гбит/с на GPU)
Размер памяти (GDDR5)	24 Гб (12GB на GPU)
Ядра CUDA	4992 (2496 на GPU)

Рисунок 4 – Характеристики GPU Tesla K80

Для отображения вычислений на архитектуру GPU используется технология CUDA (Compute Unified Device Architecture) – программно-аппаратная архитектура, позволяющая производить вычисления с использованием графических процессоров, поддерживающих технологию GPGPU. Типичная схема организации вычислений и работы приложения, использующего CUDA, следующие (как реализация концепции «Крупнозернистый параллелизм на уровне блоков, мелкозернистый параллелизм на уровне потоков внутри блока») [1, 9, 15].

Системам с GPU присущи некоторые недостатки [1, 9, 15]:

– не все задачи хорошо распараллеливаются;

– не все задачи хорошо подходят для архитектуры GPU;

– эффективный перенос всех вычислений на GPU невозможен;

– высокая сложность разработки и предпочтительность оптимизации приложений по сравнению с CPU;

– имеют значение физические характеристики и микроархитектура GPU.

Известны и практические реализации графических систем на GPU- кластерах, дающих возможность сочетать преимущества кластерной и GPGPU технологий. Однако, ввиду того, что даже почти идеальная многопоточная задача требует, чтобы исходные данные были доступны каждому вычислительному потоку, в таких системах выдвигаются жесткие требования к объёму и скорости физической памяти кластеров.

С точки зрения реализации трассировки лучей, как одной из основных составляющих организации реалистичного синтеза и визуализации изображений в 3D-СОИ, на GPU необходимо отметить следующее. Рейтрейсинг не может быть реализован имеющейся аппаратной поддержкой стандартного графического конвейера на GPU, но может выполняться на GPU при помощи шейдеров, однако неэффективно, в связи с чем сегодня для этого повсеместно применяется технология GPGPU [1, 17, 18].

Однако эксперименты показывают, что, несмотря на то, что задача потенциально может быть хорошо распараллелена, а GPU является мощным многоядерным параллельным вычислителем, прямая реализация рейтрейсинга на гибридной системе не дает резкого увеличения производительности (CPU 6-Core Processor Intel Core i7-980 + GPU) (рис. 5, [19]).

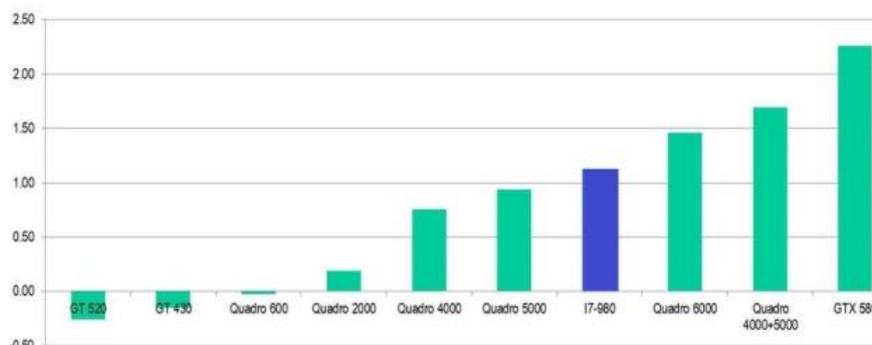


Рисунок 5 – Трассировка лучей на гибридной системе с GPU [19]

Из приведенной диаграммы видно, что младшие модели видеокарт абсолютно не приспособлены для расчетных задач рейтрейсинга, т. е., например, CPU справился с задачей в одиночку быстрее, чем в паре с Quadro 600, не смотря на меньшее количество

потоков. Более производительные видеокарты конечно превосходят по производительности 6-ядерный CPU, но разница в производительности не превышает 2,5 (GTX 580 при 512 CUDA- ядрах и 384 bit-GDDR5).

Полученные данные объясняются некогерентностью исполнения распараллеленных потоков трассировки в виду специфики рейтрейсинга и перечисленными выше следующими общими недостатками реализации задач общего назначения на GPU [1, 2, 3, 19].

В связи с этим, перспективными направлениями повышения аппаратной производительности реализации методов трассировки лучей на GPU и гибридных системах является усовершенствование

архитектуры GPU для задач рейтрейсинга и применение GPU-кластеров.

Примером разработок таких систем служат графические ускорители Wizard от Imagination Technologies для технологии трассировки лучей (компания с 2010 года занимается разработкой технологий аппаратного ускорения рейтрейсинга, продвигает созданный низкоуровневый API PowerVR OpenRL в качестве стандарта для аппаратного ускорения трассировки лучей и SDK для создания приложений) [18], рис. 6.

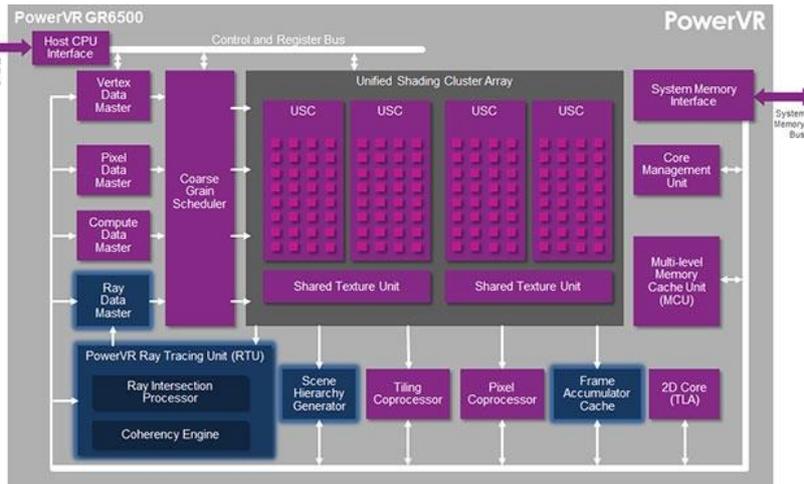


Рисунок 6 – Архитектура PowerVR Rogue

Wizard – по сути, развитие существующих ускорителей Imagination PowerVR Series6XT Rogue, где к традиционным блокам GPU добавились новые аппаратные блоки эффективного исполнения трассировки лучей. В результате GPU поддерживает все возможности традиционного конвейера растеризации, но вдобавок умеет выполнять трассировку лучей.

Wizard предполагает 4 ключевых блока обработки трассировки лучей.

Блок Ray Tracing Data Master отвечает за передачу данных о лучах обратно в блоки растеризации. Ray Tracing Unit обрабатывает данные о лучах и точках соприкосновения, а Data Master затем передаёт эти данные в блоки растеризации для формирования финальной картинки.

Ray Tracing Unit (RTU) – основа аппаратной трассировки лучей. Этот непрограммируемый блок занимается собственно основными вычислениями. RTU состоит из двух субблоков: Ray Interaction Processor и Coherency Engine. Первый осуществляет необходимые расчёты, а второй отвечает за организацию и согласование данных о лучах для эффективной обработки.

Scene Hierarchy Generator используется для динамического обновления объектов, а Frame Accumulation Cache отвечает за доступ

к буферу кадра и призван компенсировать обычно некогерентную природу трассировки лучей, усложняющую операции с памятью и кеширование.

Как сообщает Imagination, ускоритель GR6500 может обрабатывать до 300 млн. лучей в секунду и 100 млн. динамических треугольников в секунду [18].

Известны и практические реализации 3D-СОИ на GPU-кластерах, сочетающих преимущества кластерной и GPGPU технологий (на рис. 7 – архитектура кластерной GPU- 3D-стерео СОИ QinetiQ [20]).

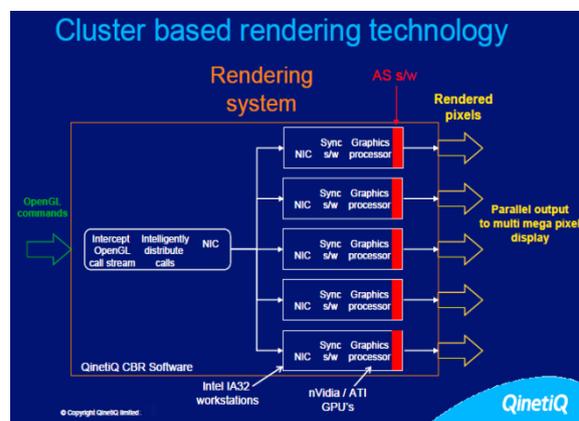


Рисунок 7 – Архитектура GPC- 3D- стерео СОИ QinetiQ

Для решения базовой для 3D-систем объемной пространственной визуализации задачи генерации объемных пространственных примитивов авторами разработаны и исследованы «GPU-based» генераторы объемных пространственных примитивов [21, 22, 1-4], показавшие как работоспособность предложенных алгоритмических решений, так и эффективность их реализации на параллельных графических процессорах (на рис. 8 – GPU реализация генератора воксельного разложения отрезков по методу приоритетов).

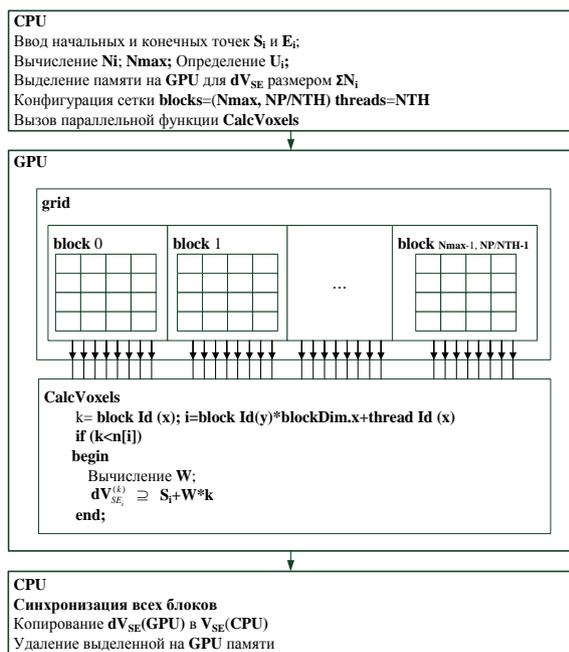


Рисунок 8 – GPU реализация генератора воксельного разложения отрезков

Выводы

Организация систем реалистичной 3D-визуализации предусматривает принципиально новую организацию вычислительного процесса, отличную от стандартного графического 3D-конвейера, и применения специфических и высокозатратных методов синтеза и визуализации реалистичных изображений, что обуславливает обязательную аппаратную поддержку синтеза и визуализации на многоядерных центральных процессорах, спецпроцессорах и графических мультипроцессорах. Повышение скорости и реалистичности синтеза и визуализации изображений 3D-СОИ за счет эффективного построения архитектур средств их аппаратной поддержки является важным и максимально производительным направлением совершенствования таких систем.

Практическая реализация аппаратного ускорения решаемых задач 3D-синтеза и визуализации изображений через разработку

специализированных процессоров является хоть и максимально эффективной, но дорогой и практически недоступной конечному пользователю. В связи с этим, де-факто, основным направлением реализации аппаратного ускорения задач 3D-синтеза и визуализации изображений в 3D-СОИ является использование аппаратного обеспечения параллельных графических процессоров (GPU) и GPU-кластеров (GPC).

Литература

1. Bashkov E. A., Zori S. A., Anas-M. Al Oraiqat Spatial Visualization via Real Time 3D Volumetric Display Technologies / Lambert Academic Publishing (LAP). - 2018-01-25 | book. ISBN: 978-620-2-09398-9
2. Zori S. A., Bashkov E. A., Anas-M. Al Oraiqat Specialized Computer Systems for Environment Visualization // Springer 3D Research. – 2018. - Vol. 9, No 2. - 13 P. | DOI: 10.1007/s13319-018-0168-9
3. Зори С. А., Башков Е. А. Реалистичная пространственная визуализация с использованием технологий объемного отображения: Монография / Е. А. Башков, С. А. Зори. – Донецк, ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. – 150 с.
4. С. А. Зори, Е. А. Башков Реалистичная визуализация трехмерных объектов и сцен с использованием технологий объемного отображения // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – 2012. - № 5(130). – С. 133-137.
5. Shirley P. Realistic Ray Tracing, Second Edition / P. Shirley, R. K. Morley. – Wellesley: A K Peters/CRC Press. – 2003. – 235 p.
6. FOVIA introduces next generation high definition volume rendering® engine. // Fovia.com. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fovia.com/fovia-press-release/>
7. Westover Lee Alan SPLATTING: A Parallel, Feed-Forward Volume Rendering Algorithm // ACM.org. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.unc.edu/techreports/91-029.pdf>
8. Display Systems. Design and Applications / Edited Lindsay W. MacDonald, Antony C. Lowe. – Jphn Willey & Sons Ltd., 2009. – 418 p.
9. Погорелый С. Д. Анализ методов повышения производительности компьютеров с использованием графических процессоров и программно-аппаратной платформы CUDA / С. Д. Погорелый, Ю. В. Бойко, М. И. Трибрат и др. // Математические машины и системы. – 2010. – № 1. – С. 40-54.

10. Е. А. Башков, А. Я. Аноприенко, Р. В. Мальчева, Ю. А. Коба. Аппаратно-программный комплекс генерации изображений в реальном времени // «Вопросы радиоэлектроники», серия «ЭВТ 2». – 1991. – С. 77-84.
11. А. Я. Аноприенко, Е. А. Башков, Ю. А. Коба, А. А. Кухтин, Р. В. Мальчева, Т. В. Чухонцева Система синтеза изображений в реальном времени для испытательных стендов // «Гибридные вычислительные машины и комплексы». – 1992. – № 15. – С. 72-76.
12. PIXEL – PLANES: A VLSI – Oriented Design for a Raster Graphics Engine // Eecs.umich.edu. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ai.eecs.umich.edu/people/conway/VLSI/VLSIDesMag/Articles/Pixel-Planes.V3Q81.pdf>
13. Hopkins J. The Pixel – Planes Family of Graphics Architectures // SC.edu. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cs.jhu.edu/~cohen/VW2000/Pixel – Planes.bw.pdf>
14. Saar COR. Ray tracing hardware // Fovia.com. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.liquisearch.com/saar_cor/implementations
15. Боресков А. В., Харламов А. А. Основы работы с технологией CUDA / Боресков А. В., Харламов А. А. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 232 с.
16. TESLA K80 GPU Accelerators for workstations // NVIDIA.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvidia.com/object/tesla-workstations.html>
17. Расчёт освещения с помощью современных графических ускорителей // FCenter.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fcenter.ru/online/softarticles/games/6755>
18. Imagination: трассировка лучей в реальном времени // 3DNEWS.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/797054>
19. Сетевой рендеринг на гибридном кластере // Хабрахабр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/163829/>
20. QinetiQ Autostereo 3D Display Wall // Sid.org. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sid.org/chapters/uki/presentations/qinetiq.pdf
21. Башков Е. А., Аль-Орайкат А. М., Авксентьева О. А. Генератор отрезков прямых повышенной производительности для трехмерного дисплея // Наукові праці Донецького національного технічного університету, Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка». – Вип. 11 (164). – Донецьк ДонНТУ, 2010. – С. 100-105.
22. Авксентьева О. А., Аль-Орайкат А. М., Милотин Н. А. Генерация окружности для 3D дисплеев // Информатика и компьютерные технологии 2009. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – С.11-17.

Зори С. А., Аноприенко А. Я., Мальчева Р. В., Авксентьева О. А. Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D-пространственной визуализации. Статья посвящена рассмотрению состояния, основных направлений и перспектив развития аппаратно-программных средств для повышения производительности синтеза и визуализации реалистичных изображений в системах 3D-пространственной визуализации.

Ключевые слова: 3D-визуализация, синтез изображений, повышение производительности, аппаратная поддержка, система, архитектура, спецпроцессор, графический процессор.

Zori S., Anoprienko A., Malcheva R., Avksentieva O. The use of hardware support to 3D-visualization systems performance improves. The article is devoted to the consideration of the state, main directions and perspective directions of development of hardware tools to improve the performance of the realistic image synthesis and visualization in 3D-visualization systems.

Keywords: 3D-visualization, image synthesis, performance improves, hardware support, system, architecture, special processor unit, graphics processor unit.

*Статья поступила в редакцию 15.01.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.*

УДК 621.316.925:681.3

Автоматизированная система переключения электропитания на резервный источник

В. Ф. Сивокобыленко, С. В. Деркачѳв
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
sergey_derkachev@mail.ru

Аннотация

Разработана автоматизированная система подачи резервного питания на двигательную нагрузку от резервного источника при нарушении электроснабжения по любой причине. Входными сигналами являются токи и напряжения рабочего и резервного источников питания. Приведены структурные схемы блоков, входящих в состав устройства и алгоритмы их работы. Для повышения быстродействия используется алгоритм, который позволяет определить ортогональные составляющие измеряемых сигналов за время менее полупериода промышленной частоты. Для выявления потери питания усовершенствован орган направления мощности. Орган подачи резервного питания выполнен с контролем угла между напряжениями взаиморезервируемых секций. Результаты лабораторных испытаний разработанной системы на микропроцессорной основе показали, что она позволяет выявить потерю питания за время не более 10 мс, независимо от причины. Применение разработанного устройства в системах электроснабжения позволит повысить надежность питания ответственных потребителей с непрерывным технологическим процессом.

Введение

На предприятиях с непрерывным технологическим процессом в качестве привода основных механизмов, как правило, используются синхронные и асинхронные двигатели, поэтому даже кратковременное нарушение нормального режима электроснабжения на таких предприятиях может привести к расстройству сложного технологического процесса. Это обусловлено тем, что перерыв питания (длительностью 0,2-0,5 секунды) приводит к нарушению устойчивости работы и неуспешному самозапуску двигательной нагрузки.

На сегодняшний день одним из наиболее эффективных методов обеспечения устойчивой работы электродвигателей в режимах кратковременного нарушения электроснабжения является применение быстродействующих выключателей в сочетании с устройствами быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР), при которых можно обеспечить время перерыва питания не более 0,1–0,2 секунды.

На сегодняшний день существует ряд микропроцессорных устройств БАВР [1-6], к недостаткам которых можно отнести: возможность неправильной работы при несимметричных коротких замыканиях [1, 2], возможность отказа в работе органа потери питания при глубоких посадках напряжения [3, 4], зависимость работы устройства БАВР от внешних защит [5, 6] и др.

Для предотвращения несинхронных включений двигательной нагрузки на резервное питание в устройствах БАВР должны быть предусмотрены несколько режимов переключения: «быстрое переключение» (переключение при сдвиге между векторами напряжений не более 60 градусов), синхронное переключение (переключение при совпадении по углу векторов напряжений основного и резервного источников питания), а также переключение по остаточному напряжению (переключение при снижении напряжения на секции, потерявшей питание более чем на 50 % от номинального) [7-10].

Уровень развития современной микропроцессорной элементной базы позволяет создавать автоматизированные устройства противоаварийной автоматики, поэтому разработка и совершенствование устройств БАВР для обеспечения бесперебойного питания ответственных потребителей является актуальной научно-технической задачей.

Целью данной работы является разработка принципов построения и создание микропроцессорного устройства БАВР для автоматизированной системы электроснабжения с двигательной нагрузкой.

Структурная схема устройства БАВР

Структурная схема микропроцессорного устройства БАВР, разработанного на базе микроконтроллера STM32FDiscovery показана на рис. 1.

В состав разработанного устройства БАВР входят:

- блоки формирования комплексных значений измеряемых сигналов,
- блоки направленных реле, предназначенные для определения появления аварийных режимов в сети внешнего электроснабжения,

- блок определения угла между напряжениями секций основного и резервного питания,
- блоки пороговых органов тока и напряжения,
- а также блок логической обработки сигналов и выходных реле.

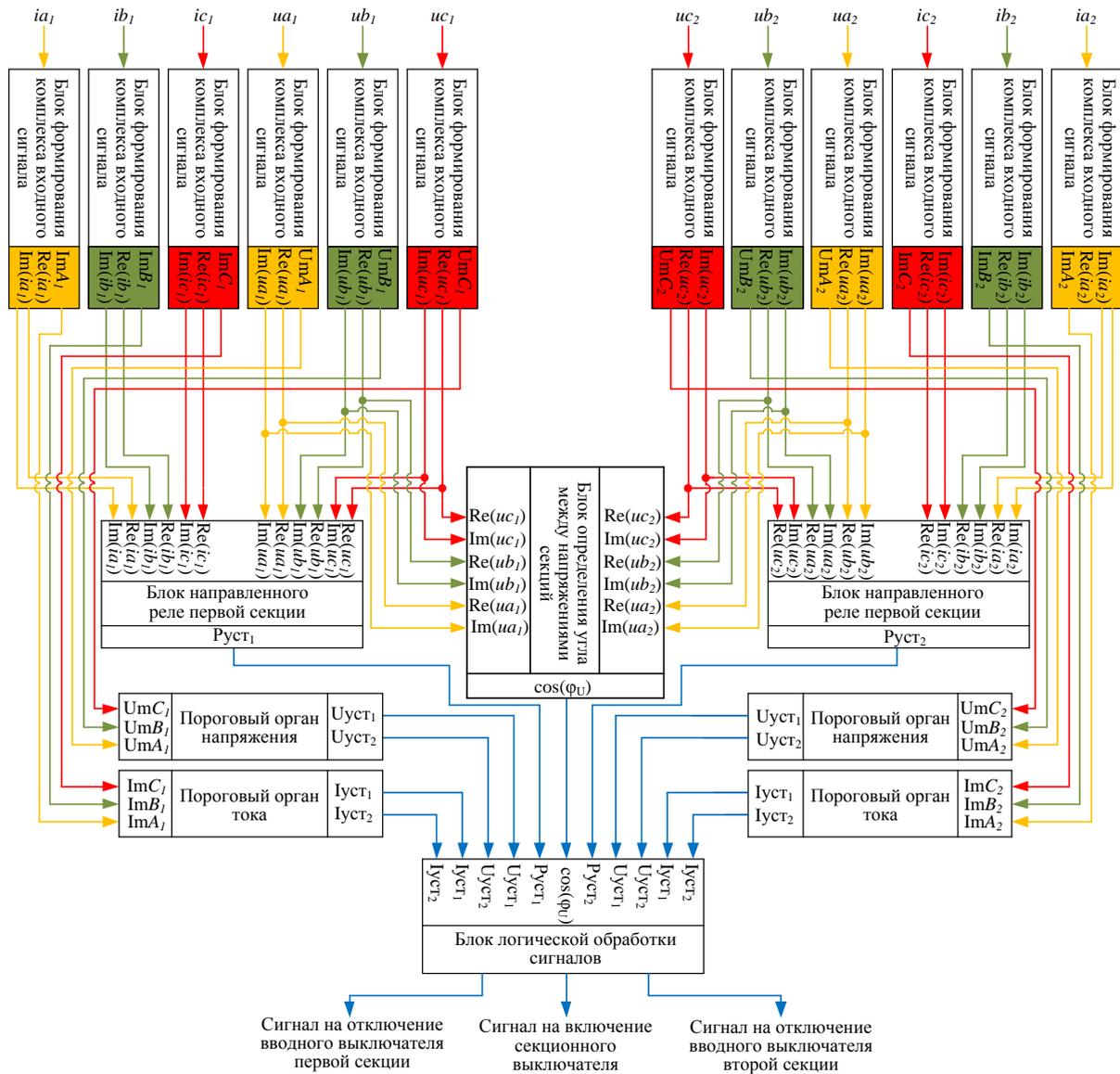


Рисунок 1 – Структурная схема микропроцессорного устройства БАВР

Блок формирования комплексных значений входного сигнала

Работа блоков формирования комплексных значений входных сигналов токов и напряжений основана на алгоритмах, подробно описанных в [11, 12] и заключается в использовании усредненных значений входных сигналов и их центральных производных. Такой подход обеспечивает фильтрацию входных сигналов, так как, согласно [12], позволяет

в переходных режимах ускорить затухание аperiodических составляющих сигналов и уменьшить влияние случайных помех. Как показано на рис. 1, в структурной схеме содержится 12 таких блоков, входными сигналами которых являются сигналы от АЦП, а выходными – дискретные мгновенные значения реальной и мнимой частей комплексного числа и его амплитуда. Структурная схема блока определения мгновенных комплексных значений входного сигнала показана на рис. 2.

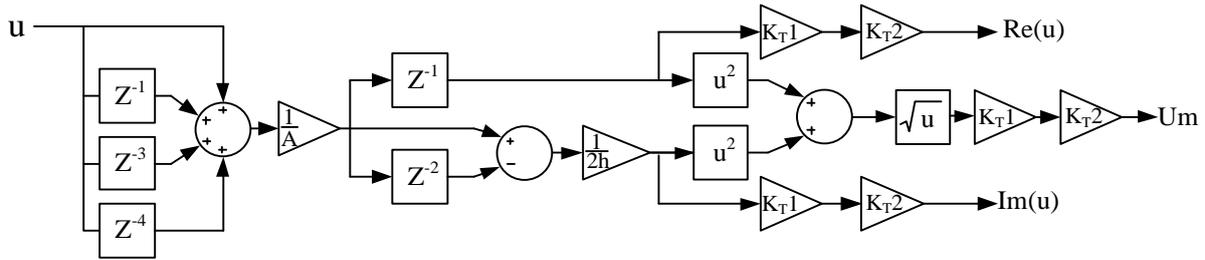


Рисунок 2 – Структурная схема блока определения мгновенных комплексных значений входного сигнала

Пороговые органы тока и напряжения

Пороговые органы тока и напряжения в разработанном устройстве БАПР необходимы для обеспечения его надежной и правильной работы. Так, например, пороговые органы тока используются в алгоритме быстрого и синфазного переключения для правильного определения секции, потерявшей питание. Структурная схема порогового органа тока показана на рис. 3.

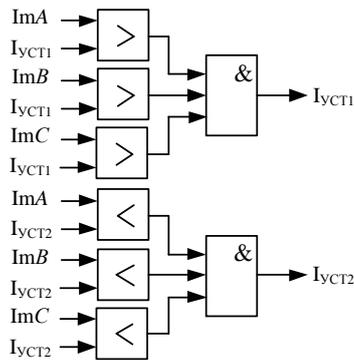


Рисунок 3 – Структурная схема порогового органа тока

Пороговый орган тока в режиме реального времени сравнивает значения амплитуды измеряемого сигнала с заданной уставкой по току $I_{уст}$. В случае превышения уставки по току $I_{уст}$ измеряемыми амплитудами во всех трех фазах формируется сигнал $I_{уст1}$, соответствующий логической единице. Если значения амплитуд во всех трех фазах

меньше заданной уставки по току $I_{уст}$, то формируется сигнал $I_{уст2}$, равный логической единице.

Пороговые органы напряжения необходимы для контроля номинального уровня напряжения на резервной секции, так как переключение двигателей на резервную секцию, напряжение которой ниже номинального уровня, может не только привести к срыву самозапуска двигателей потерявших питание, но и выходу из синхронизма синхронных двигателей, подключенных к резервной секции. Также контроль уровня напряжения на секции необходим для реализации алгоритма переключения на резервный источник по остаточному напряжению. Структурная схема пороговых органов напряжения аналогична структурной схеме пороговых органов тока, показанной на рис. 3.

Блок направленного реле

Блок направленного реле разработанного устройства БАПР предназначен для выявления аварийных режимов во внешней сети электроснабжения и состоит из двух блоков для определения комплексных составляющих прямой последовательности тока и напряжения, органа направления мощности смешанного типа и блока логической обработки выходного сигнала от блока направления мощности.

Структурная схема блока определения комплексных составляющих тока прямой последовательности на вводе секции приведена на рис. 4.

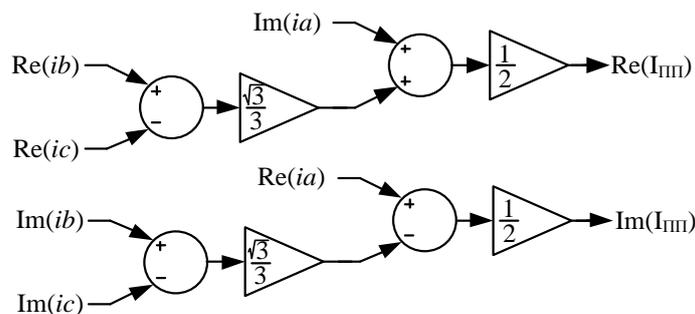


Рисунок 4 – Структурная схема блока определения комплексных составляющих тока прямой последовательности на вводе секции

Структурная схема блока определения комплексных составляющих напряжения прямой последовательности на секции аналогична блоку определения комплексных составляющих тока прямой последовательности на вводе секции.

Принцип работы органа направления мощности, используемого в предложенном устройстве БАВР, описан в [12]. Для его реализации используется выражение, в котором с помощью угла α выбирается требуемая зона работы:

$$P_{III} = (u_{xIII} \cdot i_{xIII} + u_{yIII} \cdot i_{yIII}) \cdot \cos(\alpha) + (u_{yIII} \cdot i_{xIII} - u_{xIII} \cdot i_{yIII}) \cdot \sin(\alpha)$$

Структурная схема блока определения направления мощности прямой последовательности показана на рис.5. В ней входными сигналами являются комплексные составляющие токов и напряжений прямой последовательности.

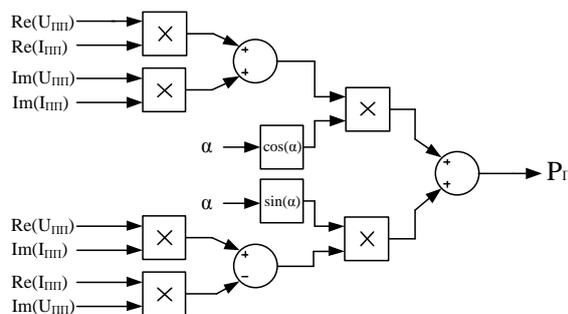


Рисунок 5 – Структурная схема органа направления мощности

Работа блока направленного реле заключается в том, что в режиме реального времени с помощью органа направления мощности на вводе секции определяется направление мощности прямой последовательности. В случае возникновения коротких замыканий в цепи внешнего электроснабжения значение мощности прямой последовательности на вводе секции становится отрицательным, что свидетельствует о появлении аварийного режима и на выходе блока логической обработки появляется сигнал на отключение вводного выключателя секции.

Блок определения угла между напряжениями секций

Для реализации быстрого и синфазного переключения в разработанном устройстве БАВР необходимо выполнять контроль косинуса угла между векторами напряжений секций основного и резервного источников питания. Определение косинуса угла между векторами напряжений с целью уменьшения влияния помех выполняется на основе реальных и мнимых частей

напряжений обеих секций по формуле:

$$\cos(\varphi_u) = \frac{0,5 \cdot (u_{xa1} \cdot u_{xa2} + u_{xb1} \cdot u_{xb2} + u_{xc1} \cdot u_{xc2})}{\sqrt{(u_{xa1}^2 + u_{xb1}^2 + u_{xc1}^2) \cdot (u_{xa2}^2 + u_{xb2}^2 + u_{xc2}^2)}} + \frac{0,5 \cdot (u_{ya1} \cdot u_{ya2} + u_{yb1} \cdot u_{yb2} + u_{yc1} \cdot u_{yc2})}{\sqrt{(u_{ya1}^2 + u_{yb1}^2 + u_{yc1}^2) \cdot (u_{ya2}^2 + u_{yb2}^2 + u_{yc2}^2)}}$$

Структурная схема блока для определения первой составляющей в этой формуле показана на рис. 6.

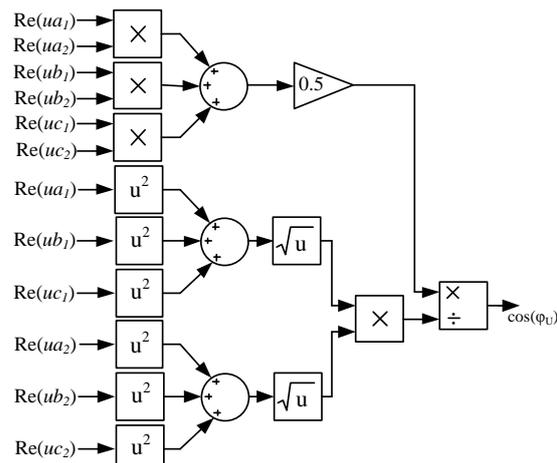


Рисунок 6 – Структурная схема блока определения угла между напряжениями секций (первой составляющей)

Блок логической обработки сигналов

Блок логической обработки сигналов в разработанном устройстве БАВР необходим для обеспечения правильной и надежной работы всего устройства в различных аварийных режимах и управления вводными выключателями двух секций и секционным выключателем. Структурная схема блока логической обработки сигнала показана на рис. 7.

Блок логической обработки сигналов постоянно контролирует сигналы от других блоков, входящих в структурную схему устройства БАВР (рис. 1). Так, например, при возникновении короткого замыкания во внешней сети электроснабжения первой секции шин срабатывает направленное реле, и на вход логического блока «И» поступает сигнал $P_{уст1\ СШ\ I}$, который равен единице, одновременно с ним от порогового органа тока первой секции шин на вход того же логического блока «И» поступает сигнал $I_{уст1\ СШ\ I}$ значение которого также равно единице, поскольку величина тока на вводе секции больше установленной уставки. В результате работы блока логической обработки «И» формируется сигнал, который дает команду на отключение вводного выключателя первой секции. Аналогичным образом в другом

логическом блоке «И» происходит обработка сигналов $P_{уст2}$ СШ II и $I_{уст2}$ СШ II, поступающих от органа направления мощности и порогового органа тока второй секции, на выходе которого также формируется сигнал на отключение

вводного выключателя второй секции шин, в случае возникновения короткого замыкания во внешней сети электроснабжения второй секции шин.

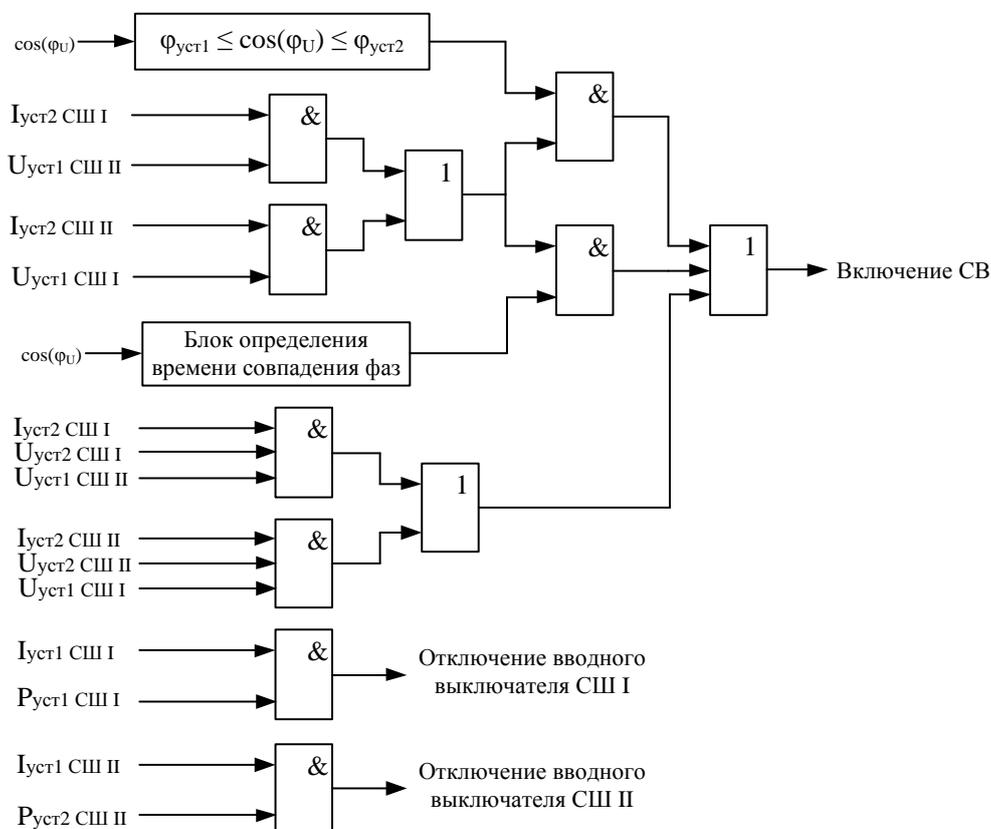


Рисунок 7 – Структурная схема блока логической обработки сигналов

В случае потери питания по причине, не связанной с короткими замыканиями, или после отключения вводного выключателя в результате работы органа направления мощности устройства БАВР одновременно запускаются три алгоритма переключения на резервный источник питания.

Работа алгоритма быстрого переключения заключается в следующем. Блок логической обработки входных сигналов постоянно контролирует величину косинуса между векторами напряжений основного и резервного источников питания и в случае если угол начинает меняться и находится в пределах, допускающих быстрое переключение, на выходе блока контроля величины угла появляется сигнал, равный единице, который поступает в логический блок «И». В этот же логический блок «И» поступает сигнал от работы логического блока «ИЛИ». Так, например, при потере питания первой секцией шин в данном режиме переключения происходит проверка уровня напряжения на резервной секции питания, т.е. сигнал от порогового органа напряжения второй секции $U_{уст1}$ СШ II должен

быть равным единице, а также проверяется отсутствие тока на вводе первой секции с помощью порогового органа тока, выходной сигнал которого $I_{уст2}$ СШ I также будет равен единице. Сигналы от пороговых органов тока $I_{уст2}$ СШ I и напряжения $U_{уст1}$ СШ II поступают в логический блок «И» выходной сигнал, которого поступает в логический блок «ИЛИ». Аналогичным образом организована работа алгоритма быстрого переключения при потере питания второй секцией шин с тем отличием, что в логический блок «ИЛИ» поступает сигнал от другого логического блока «И», который обрабатывает сигналы от порогового органа тока второй секции $I_{уст2}$ СШ II и порогового органа напряжения первой секции $U_{уст1}$ СШ I.

При работе алгоритма синфазного переключения определение секции, потерявшей питание, и наличие необходимого уровня напряжения на резервной секции шин для переключения питания осуществляется так же, как и при работе алгоритма быстрого переключения питания. Помимо контроля косинуса угла между векторами напряжений основной и резервной секций данный алгоритм

при изменении косинуса угла определяет момент совпадения по фазе остаточного напряжения на секции, потерявшей питание, и напряжения резервной секции питания.

В том случае, когда не происходит переключения питания на резервный источник по алгоритмам быстрого и синфазного переключения запускается алгоритм переключения по остаточному напряжению. Например, при потере питания первой секцией сигнал от порогового органа тока $I_{уст2}$ СШ 1 становится равным единице, свидетельствуя об отсутствии тока на вводе первой секции шин, и подается на вход логического блока «И». Затем при снижении уровня напряжения на секции, потерявшей питание, ниже установленной уставки $U_{уст2}$, выходной сигнал порогового органа напряжения $U_{уст2}$ СШ 1 становится равным единице и поступает в тот же логический блок «И». Для проверки достаточного уровня напряжения на резервной секции используется пороговый орган напряжения второй секции, выходной сигнал которого $U_{уст1}$ СШ II будет равен единице в случае достаточного уровня напряжения на резервной секции для переключения и будет поступать в логический блок «И». В том случае, если все три входных сигнала логического блока «И» будут равны единице, то на выходе логического блока «И» сформируется сигнал на включение секционного выключателя.

Результаты лабораторных испытаний разработанного устройства БАРВ

Проверка работы разработанного устройства была выполнена на лабораторном стенде, моделирующем двухсекционную подстанцию с двигательной нагрузкой в виде асинхронных двигателей напряжением 0,4 кВ. Результаты проверки устройства при переключении на резервный источник питания по алгоритму быстрого переключения приведены на рис. 8, а по алгоритму синхронного переключения на рис. 9. При этом синфазная подача резервного питания осуществлена при угле расхождения векторов напряжений 360 градусов.

Из рис. 8 видно, что переключение на резервный источник по алгоритму быстрого переключения произошло до достижения угла между напряжениями первой и второй секции значения 40 градусов, что является допустимым. Длительность перерыва составила порядка 0,1 секунды.

Из осциллограмм, приведенных на рис. 9, видно, что синфазное переключение на резервный источник питания было успешным, а длительность перерыва питания составила 0,4 секунды.

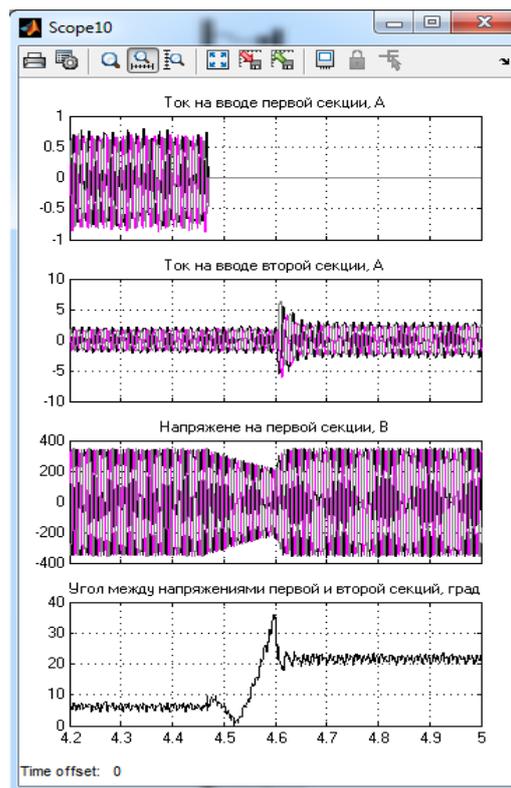


Рисунок 8 – Осциллограммы напряжений первой и второй секций и угол между ними при быстром переключении на резервный источник питания

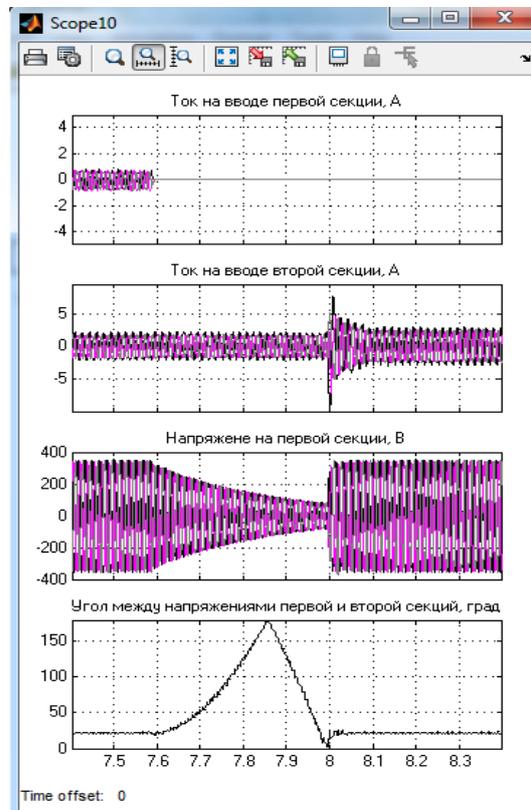


Рисунок 9 – Осциллограммы напряжений первой и второй секций и угол между ними при переключениях на резервный источник питания

Осциллограммы, приведенные на рис. 10, показывают действие БАПР при нарушении электроснабжения из-за трехфазного короткого замыкания в питающей сети. Переключение на резервный источник питания было успешным, а длительность перерыва питания составила 0,25 секунды.

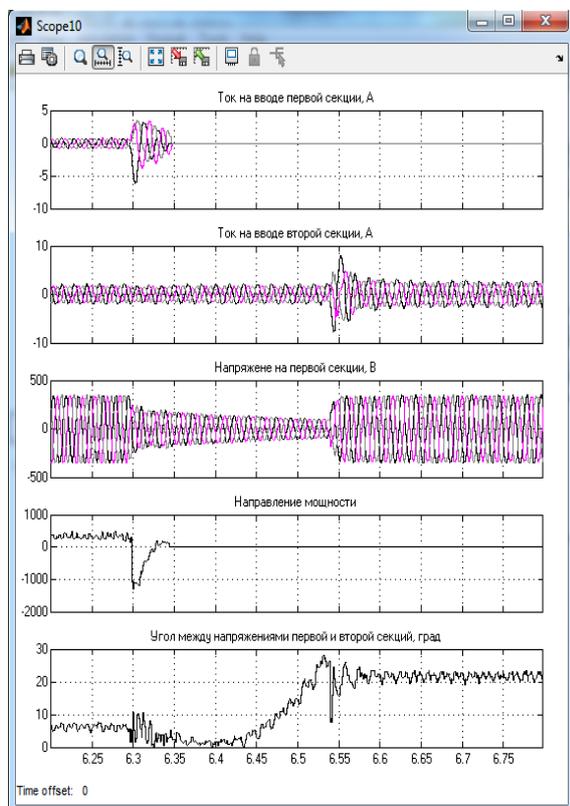


Рисунок 10 – Осциллограммы токов и напряжений первой и второй секций, органа направления мощности и угла между напряжениями секций при внешнем коротком замыкании

Характер изменения токов и напряжений первой и второй секций, органа направления мощности и угла между напряжениями секций свидетельствует о том, что после отключения короткого замыкания со стороны питающей сети было выполнено переключение на резервный источник питания по алгоритму быстрого переключения.

Выводы

Разработано микропроцессорное устройство БАПР для переключения питания на резервный источник питания в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой. Приведена структурная схема устройства БАПР и всех блоков, входящих в ее состав.

Результатами лабораторных испытаний опытного образца БАПР подтверждают эффективность применения разработанного микропроцессорного устройства БАПР для

систем электроснабжения с двигательной нагрузкой.

Литература

1. Патент на изобретение 2326481(13) С1, Российская федерация, МПК Н02J 9/06 Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / Цырук С. А., Гамазин С. И., Пупин В. М., Козлов В. Н., Павлов А. О.; заявитель и правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» (ГОУВПО «МЭИ(ТУ)»). - № 2006139086/09; заявка 07.11.2006; опубл. 07.11.2006
2. Патент на изобретение 2447565(13) С1, Российская федерация, МПК Н02J 9/06 Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / Гамазин С. И., Жуков В. А., Куликов А. И., Пупин В. М., Цырук С. А.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» (ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»). - № 2011105886/07; заявка 17.02.2011; опубл. 17.02.2011.
3. Жуков В. А. Быстродействующее устройство АВР с однократным принципом определения нарушения нормального электроснабжения потребителей. Электрооборудование: Эксплуатация и ремонт – 2011 - № 9. – с. 11-18.
4. Киреева Э. Современные устройства быстродействующего АВР. Главный энергетик. – 2005. - № 11. – с. 23-25.
5. SUE3000 High Speed Transfer Device: Product Description. ABB Power and productivity for a better world, - ABB 2010, - 24 с.
6. High Speed Transfer Device and System SUE 3000 Product Description. ABB Power and productivity for a better world, -ABB 2010, - 49 с.
7. M. Thakur, B. Kasztenny, and J. Eapen, "Implementation of automatic bus transfer scheme on multi-function microprocessor based relays," Proc. of 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University, Texas, Mar. 30-Apr. 1, 2004.
8. Girish Hunswadkar, N. R. Viju "Considerations and Methods for an Effective Fast Bus Transfer System" Tutorials and 5th international Conference Power System Protection and Automation 6-9 December 2010, New Delhi, India.
9. Jon Gardell, Chairman Dale Fredrickson, Vice Chairman "J9 Working Group Report to the Rotating Machinery Protection Subcommittee of the IEEE-Power System Relay Committee" May 2012.

10. Tarlochan S. Sidhu, Vinayagam Balamourougan, Manish Thakur, and Bogdan Kasztenny "A Modern Automatic Bus Transfer Scheme", International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 3, no. 2 (special edition), pp. 376-385, June 2005.

11. Сивокобыленко В. Ф., Деркачев С. В. Метод эквивалентных синусоид для цифровых измерительных органов релейной защиты Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна

техніка та автоматизація». – 2015- № 1(28). – с. 215-221

12. Сивокобыленко В. Ф., Деркачев С. В. Особенности измерительных органов цифровых устройств быстродействующего автоматического включения резерва для систем электроснабжения с двигательной нагрузкой. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – с. 126-133.

Сивокобыленко В. Ф., Деркачев С. В. Автоматизированная система переключения электропитания на резервный источник. Разработана автоматизированная система подачи резервного питания на двигательную нагрузку от резервного источника при нарушении электроснабжения по любой причине. Входными сигналами являются токи и напряжения рабочего и резервного источников питания. Приведены структурные схемы блоков, входящих в состав устройства и алгоритмы их работы. Для повышения быстродействия используется алгоритм, который позволяет определить ортогональные составляющие измеряемых сигналов за время менее полупериода промышленной частоты. Для выявления потери питания усовершенствован орган направления мощности. Орган подачи резервного питания выполнен с контролем угла между напряжениями взаиморезервируемых секций. Результаты лабораторных испытаний разработанной системы на микропроцессорной основе показали, что она позволяет выявить потерю питания за время не более 10 мс, независимо от причины. Применение разработанного устройства в системах электроснабжения позволит повысить надежность питания ответственных потребителей с непрерывным технологическим процессом.

Ключевые слова: автоматизированная система, надежность электроснабжения, переключение питания, микропроцессор, быстродействующее автоматическое включение резерва.

Sivokobylenko V., Derkachev S. Automated system for switching power supply to the backup power. Developed an automated system for supplying backup power to the motor load from a backup source in the event of a power failure for any reason. Input signals are current and voltage of the working and backup power sources. The block diagrams of the units that make up the device and the algorithms of their work are given. To increase the speed, an algorithm is used that allows you to determine the orthogonal components of the measured signals in less than half the period of industrial frequency. To detect a power loss improved unit of power direction. The backup power supply unit is made with control of the angle between the voltages of the mutually reserved sections. The results of laboratory tests of the developed system based on a microprocessor shown that it reveals a loss of power no more 10 ms, regardless of the cause. Applying the developed device in the power supply systems will increase the reliability of power responsible consumers with a continuous technological process.

Keywords: automated system, power supply reliability, power switching, microprocessor, high-speed automatic transfer switch.

Статья поступила в редакцию 12.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Автоматизированная система контроля и управления доступом на основе анализа биометрических параметров человека

Р. С. Антипов, Т. В. Мартыненко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
380713347428@yandex.ru, tatyana.v.martynenko@gmail.com

Аннотация

Приведено описание методов обработки изображений, используемых при идентификации человека, для повышения уровня достоверности биометрических систем. Рассмотрены все этапы решения поставленной задачи. Произведен сравнительный анализ существующих групп методов для решения поставленной задачи, а также выявлены основные проблемы, возникающие при обработке видеоданных.

Введение

Биометрические данные используются для идентификации или различения людей на основе их уникальных особенностей. Исторически сложилось так, что основное применение биометрии было в уголовных расследованиях, и первоначально методы были довольно простыми. Измерения основывались на легко видимых особенностях тела, таких как шрамы, родимые пятна или расстояния между отдельными частями тела. Несмотря на простоту (хотя и трудоемкость) выполнения, эти методы страдали от неточных измерений и нечетких характеристик, которые вызывали более высокий риск неудачной идентификации или ложных срабатываний.

В конце XIX века потенциал отпечатков пальцев как биометрического признака был признан. Это была гораздо более тонкая особенность, но с гораздо большей отчетливостью, чем ее предшественники. Система распознавания отпечатков пальцев вскоре стала наиболее часто используемой в англоязычных странах [1].

В настоящее время существует очень большое количество систем идентификации, основанных на различных типах биометрии [1, 2]. Они включают в себя распознавание:

- радужной оболочки;
- отпечатков пальцев;
- сетчатки;
- голоса;
- лица;
- сосудов ладони.

Последняя технология представляет собой довольно новую технологию в биометрической области, которая постепенно внедряется во всем мире. Идея использования сосудистого паттерна кисти впервые была рассмотрена в начале 1990-х годов, но только в начале 2000-х был разработан коммерческий продукт, ставший популярным, когда было создано приложение для

идентификации личности на основе рисунка вен на тыльной стороне ладони.

Хотя биометрия по-прежнему является важным инструментом уголовного расследования, в настоящее время она также используется в коммерческих продуктах, требующих аутентификации пользователей, таких как контроль доступа. Другое возможное применение биометрии – в наблюдениях, где используется распознавание лиц. Это область биометрии, которая была широко исследована, особенно после атак 9/11 [3, 4].

Постановка задачи

Проблеме идентификации человека посвящено множество работ, однако в целом она ещё далека от разрешения. Основные трудности заключаются в том, чтобы можно было идентифицировать человека по изображению его сосудистого русла независимо от изменения ракурса и условий освещённости при съёмке.

Цифровое изображение, получаемое видеокамерой в момент времени t и имеющее по вертикали h , а по горизонтали w пикселей, обозначим $I_t(h, w)$. Видеопоток – это последовательность цифровых изображений (кадров) $I_t(h, w)$, $I_{t+1}(h, w)$, ..., $I_{t+k}(h, w)$. Под прямоугольной областью интересов $ROI(x, y)$ понимается множество пикселей цифрового изображения $I_t(h, w)$, очерчивающих искомым объект, содержащее x пикселей по вертикали и y по горизонтали. Обнаружением объекта называется выделение области $ROI(x, y)$ на цифровом изображении $I_t(h, w)$ в момент времени t .

Цель исследования

Целью является обзор методов идентификации человека по изображениям для повышения уровня достоверности распознавания бесконтактных систем.

Решение задачи состоит из нескольких шагов. На рис. 1 представлены основные этапы обработки изображений.

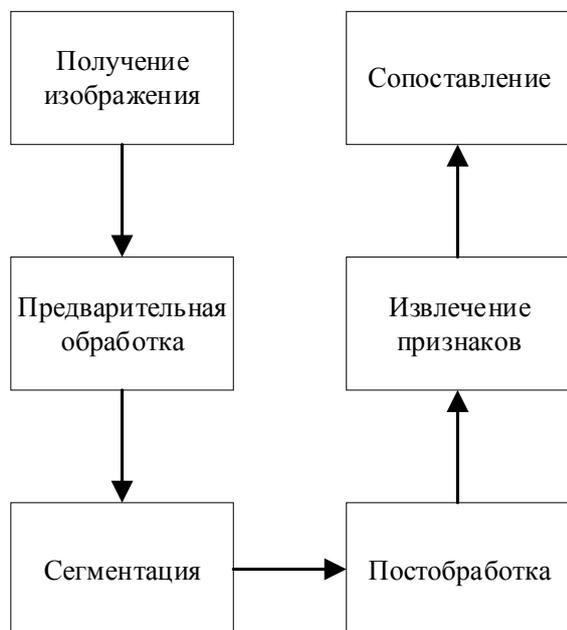


Рисунок 1 – Основные этапы обработки изображений

Обнаружение и распознавание объектов в кадре

В первую очередь после получения очередного кадра требуется выделить на нем объекты, представляющие интерес.

Проблема с выделением области интересов (ROI) заключается в том, что извлеченные области должны быть одного размера и с одинаковым расположением для каждого снимка. Для решения этой проблемы используются два метода извлечения ROI.

Первый метод предполагает фиксацию руки в определенном положении сразу под камерой [5].

Второй метод основан на извлечении информации, взятой из захваченного изображения. Для этого используются ключевые точки контура руки [6].

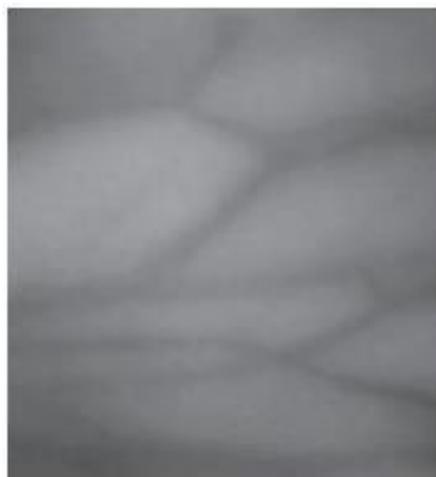
Удаление ненужной информации

Выделенное ROI содержит помимо рисунка вен много ненужной информации, от которой необходимо избавиться. Это выполняется в три этапа: предобработка, сегментация, постобработка.

Предобработка

Данный этап уменьшает шум в изображении, который мог возникнуть в результате работы некачественной камеры или

наличия волосков. Для этого этапа применяется фильтр высоких частот (ФВЧ), а затем бинаризацию на основе гистограммы [7] либо фильтр низких частот (ФНЧ) Гаусса [5]. Затем для удаления «шума» от волосков на руке применяется медианный фильтр. На рис. 2 представлены изображения до и после данного этапа.



а)



б)

Рисунок 2 – Результат этапа предварительной обработки:
а) до обработки; б) после обработки [7]

Сегментация

После уменьшения шума изображение проходит сегментацию. Она используется для получения хорошего двоичного представления рисунка вен. Распространенным методом является локальное пороговое значение [5, 8-10]. Это дает возможность получить хорошее разделение рисунка венозного русла от фона. Другие методы – направленный сосудистый рисунок [7] (представлен на рис. 3) и обнаружение края [6] – являются более сложными в реализации.

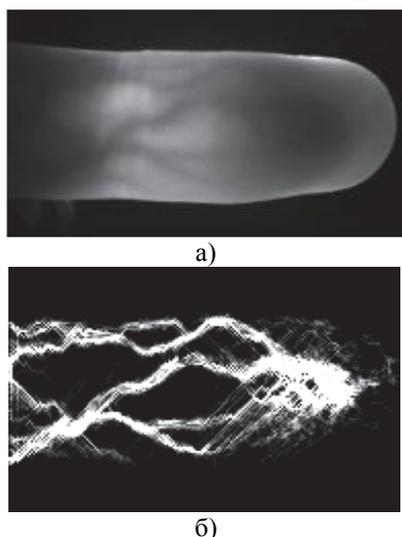


Рисунок 3 – Результат работы метода направленного сосудистого рисунка: а) до обработки; б) после обработки

Постобработка

Этап нужен из-за изменений диаметров вен, вызванных различными факторами, такими как температура окружающей среды, физические упражнения и т. д. Применяется также для изоляции узора вен, удаляя «капли», не являющиеся частью рисунка вен.

При постобработке применяются следующие морфологические методы: дилатация (расширение, наращивание), эрозия (сужение), открытие (размыкание) и закрытие (замыкание). Метод открытия представляет собой последовательное применение методов эрозии и дилатации; метод закрытия – дилатации, а затем – эрозии. На рис. 4-5 представлены результаты обработки данными методами.

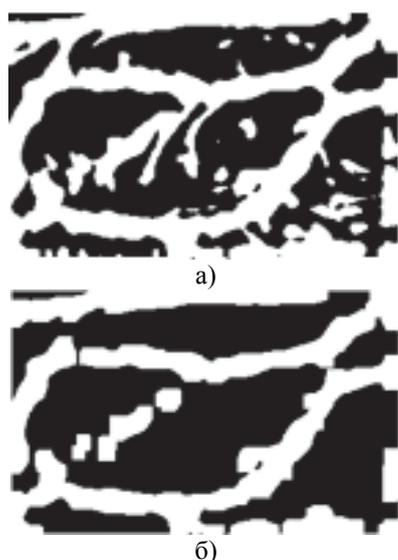


Рисунок 4 – Результат применения оператора открытия: а) до обработки; б) после обработки

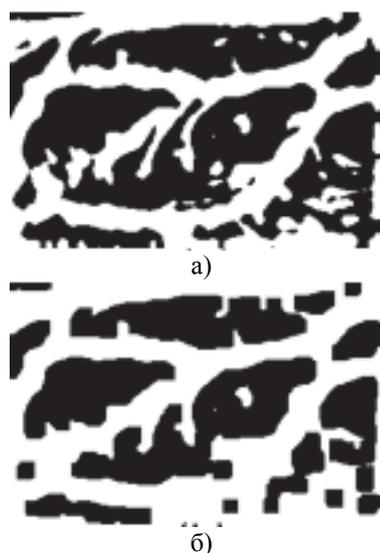


Рисунок 5 – Результат применения оператора закрытия: а) до обработки; б) после обработки

Извлечение признаков и распознавание

Последние шаги, связанные с системой распознавания образов вен – это функция извлечения и распознавания. Эти шаги сильно зависят друг от друга, поскольку один метод распознавания обычно работает только с определенной характерной чертой. По этой причине были выбраны функции и соответствующие методы извлечения на основе методов распознавания.

Для преодоления проблемы нестабильности признака от окружающей среды, системе необходимо проанализировать общую форму рисунка сосудистого русла. Утоньшение – широко используемый метод для извлечения этой формы. Он преобразует рисунок вены в линию толщиной в один пиксель. Этот алгоритм часто модифицируется, чтобы избавиться от некоторых ненужных точек размером в один пиксель, а также для избавления от небольших ненужных ветвей [5, 8].

Скелет, полученный этими методами (представлен на рис. 6), затем используется для извлечения признаков и сопоставления.

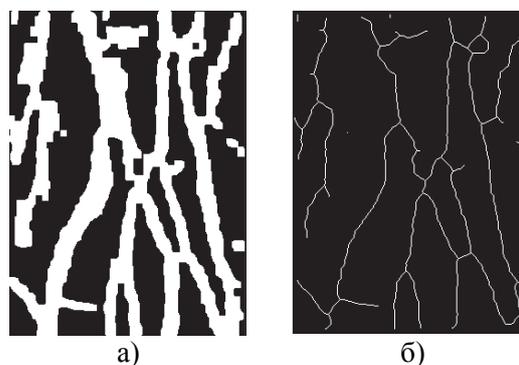


Рисунок 6 – Результат метода Утоньшение: а) до обработки; б) после обработки

Иногда в качестве признака используется сам скелет, иногда извлекаются такие признаки, как перекрестные и конечные точки.

При использовании скелета используется метод медиальной репрезентации оси элемента массива вен, а затем применение схемы «ограниченной последовательной корреляции» для сопоставления с шаблоном [8].

Для сопоставления точек чаще всего используют триангуляцию Делоне, модифицированное расстояние Хаусдорфа.

Чтобы быть эффективным, метод триангуляции Делоне требует, чтобы положение всех точек относительно друг друга было стабильным. К сожалению, в целом оказалось, что это не относится к конечным точкам и точкам пересечения, извлеченным из рисунков утонченных вен. Из-за небольших различий в снятых изображениях данные точки, как правило, появляются случайным образом на утонченном изображении, в результате чего триангуляция сильно отличается даже между очень похожими изображениями. На рис. 7 представлен результат анализа снимков руки, сделанных под различными углами. Данный метод имеет высокую эффективность при работе в контактных системах распознавания (отпечаток пальца).

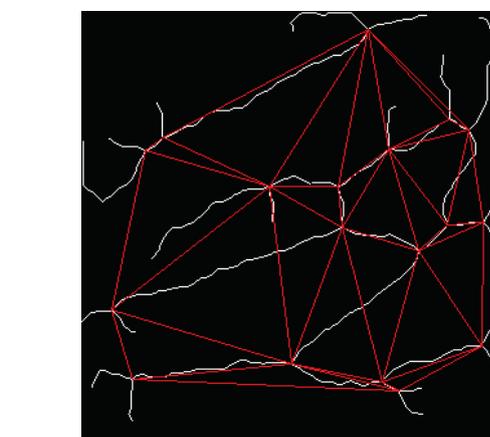
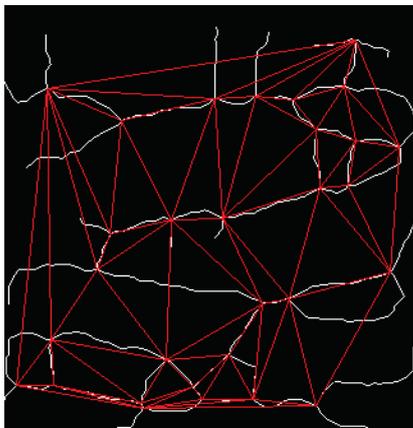


Рисунок 7 – Триангуляция Делоне на примере снимков руки, сделанных под различными углами

Модифицированное расстояние Хаусдорфа (МРХ) имеет низкое значение при сравнении выборок одного и того же шаблона и высокое у разных шаблонов. Это показывает, что МРХ может использоваться для распознавания образов.

Для распознавания с помощью МРХ требуется база данных извлеченных шаблонов, назначенная каждому зарегистрированному человеку. Когда неизвестный образец должен быть идентифицирован, значение МРХ вычисляется между ним и всеми изображениями, соответствующими человеку в базе данных. После этого берется среднее значение этих расстояний, давая оценку того, насколько похож образец на шаблон этого человека. Это повторяется для всех зарегистрированных лиц. После этого неизвестный шаблон идентифицируется как принадлежащий к классу с самым низким МРХ, который находится ниже заданного порога принятия решения. Если нет значения ниже порога принятия решения, то неизвестный шаблон классифицируется как неизвестный. На рис. 8 представлены два паттерна одной руки, на рис. 9 – другой; в табл. 1 – рассчитанное МРХ для данных паттернов.

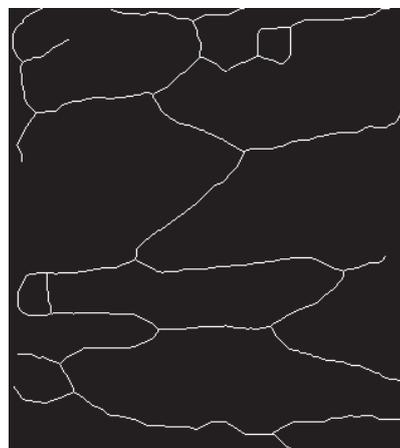
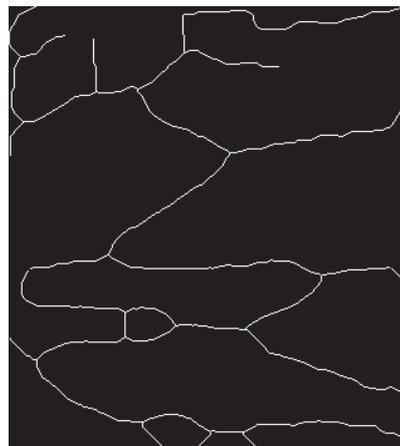


Рисунок 8 – Паттерны одной руки в разных ракурсах

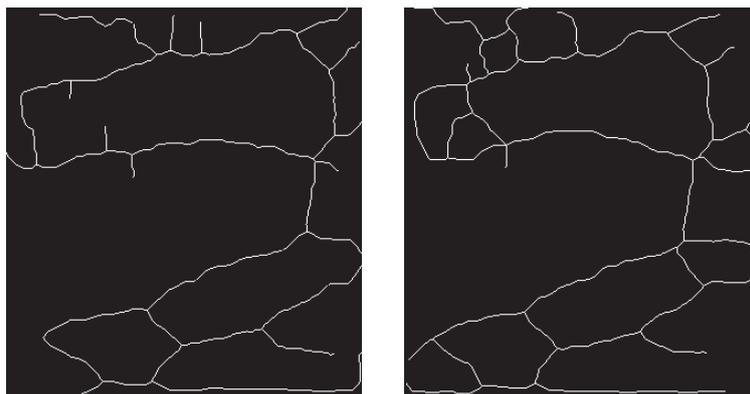


Рисунок 9 – Паттерны второй руки в разных ракурсах

Таблица 1 – Значения МРХ

	Рис. 8а	Рис. 8б	Рис. 9а	Рис. 9б
Рис. 8а	0	5.768	12.195	12.5
Рис. 8б	5.768	0	12.963	13.478
Рис. 9а	12.195	12.963	0	7.091
Рис. 9б	12.5	13.478	7.091	0

Анализ существующих методов

Производительность биометрических систем имеет важное значение для определения того, есть ли у системы потенциал для применения в реальных жизненных ситуациях. В табл. 2 представлены рассмотренные методы и их эффективность.

Таблица 2 – Эффективность методов

Название	Объекты	Изображения для тестирования	Попытки сопоставления		FAR	FRR	FTE
			Права доступа				
			Есть	Нет			
Кросс и Смит [1]	20	2	40	760	0%	7.5%	0%
Ванг и Лидхам [8]	12	6	72	792	0%	0%	0%
Университет Цинхуа [5]	13	5	260	3120	0%	4.6%	0%
Харбинский университет [5]	48	5	960	45120	0%	0.8%	0%
Миура (2004) [7]	678	1	678	459006	0.145%	0.145%	0%
Миура (2006) [9]	678	1	678	459006	1%	0%	0%
Лин и Фан [10]	32	15	480	14880	3.5%	1.5%	«малое число»

В таблице представлены три ключевых показателя производительности:

– частота ложного принятия (FAR) – вероятность того, что несанкционированное лицо принято в качестве уполномоченного лица;

– частота ложных отказов (FRR) – вероятность того, что уполномоченное лицо отклонено как неавторизованное лицо;

– отказ от регистрации (FTE) – вероятность того, что данный пользователь не сможет зарегистрироваться в биометрической системе из-за недостаточно отличительной биометрической выборки.

Данные показатели могут привести к неправильной оценке эффективности, если используются только два из них без третьего.

Обобщенная схема работы системы

Система контроля и управления доступом в упрощенном виде состоит из трех модулей:

– модуля считывания биометрических данных;

– модуля идентификации;

– модуля предоставления доступа.

Входной информацией для такой системы является видеопоток. Из него выделяется последовательность кадров, к каждому из которых применяется алгоритм детектирования руки. Получив область кадра с объектом, необходимо произвести сравнение ключевых признаков полученного объекта с имеющимися в БД. В результате чего получаем отсылку на конкретного человека. В случае отсутствия совпадения регистрируется попытка нарушения доступа. В случае идентификации личности выполняется проверка прав доступа.

Основным ограничением является тот факт, что система никогда не может измерить данную функцию с абсолютной точностью: хорошие измерения требуют точного оборудования, и, как правило, объект должен

быть расположен определенным образом для достижения полезных результатов. Последствия сбоя системы будут зависеть от приложения. Если пользователь ложно отклонен системой безопасности, ущерб обычно ограничен, поскольку пользователь может просто попробовать еще раз. Если, с другой стороны, самозванец ложно принят системой, потенциальный ущерб может быть большим. По этой причине высокая ложная скорость принятия (FAR) обычно более важна для системы безопасности, чем низкая истинная скорость принятия (TAR).

Выводы

В статье исследуется процесс идентификации человека на основе биометрического изображения. Проведен сравнительный анализ существующих категорий методов решения поставленной задачи. Определены направления в решении задачи. В процессе исследования предметной области были выявлены существенные проблемы, которые могут возникнуть при обработке потока видеоданных, а именно сложность идентификации человека при изменении ракурса съемки признака.

Литература

1. Р. М. Болл, Дж. Х. Коннел, Ш. Панканти, Н. К. Ратха, Э. У. Сеньор. Руководство по биометрии: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 369 с.
2. Ворона В. А., Тихонов В. А. Системы контроля и управления доступом. Уч. пособие. –

М.: Горячая линия – Телеком, 2010 – 272 с.

3. T. Frank. (2007, May) Face recognition next in terror fight. Internet. [Online]. Режим доступа: https://usatoday30.usatoday.com/news/washington/2007-05-10-facial-recognition-terrorism_N.htm
4. M. Kane. Face recognition grew even before 9/11. [Online]. Режим доступа: <http://news.cnet.com/2100-1023-883730.html>
5. L. Wang and G. Leedham, "A thermal hand vein pattern verification system," Lecture Notes in Computer Science, pp. 58-65, 2005.
6. K. Fan, C.-L. Lin, and W.-L. Lee, "A study of hand vein recognition method," in 16th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing. Kinmen, ROC: IPPR, August 2003.
7. Y. Ding, D. Zhuang, and K. Wang, "A study of hand vein recognition method," in International Conference on Mechatronic and Automation. Niagara Falls, Canada: IEEE, 2005.
8. J. Cross and C. Smith, "Thermographic imaging of the subcutaneous vascular network of the back of the hand for biometric identification," in Security technology, 1995. Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers 29th Annual 1995 International Carnahan Conference on. Sanderstead, UK: IEEE, 1995.
9. A. Nagasaka, T. Miyatake, and N. Miura, "Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification," Machine Vision and Applications, vol. 15, pp. 194 - 203, 2004.
10. N. Miura, A. Nagasaka, and T. Miyatake, "Personal identification device and method," US Patent #2005/0 047 632A1, 2005.

Антипов Р. С., Мартыненко Т. В. Автоматизированная система контроля и управления доступом на основе анализа биометрических параметров человека. Приведено описание методов обработки изображений, используемых при идентификации человека, для повышения уровня достоверности биометрических систем. Рассмотрены все этапы решения поставленной задачи. Произведен сравнительный анализ существующих групп методов для решения поставленной задачи, а также выявлены основные проблемы, возникающие при обработке видеоданных.

Ключевые слова: система идентификации, безопасность, биометрия, видеопоток, изображение.

Antipov R., Martynenko T. Automated access control system based on the analysis of human biometric parameters. A description is given of image processing methods used in human identification to increase the level of confidence in biometric systems. Considered all the stages of solving the task. A comparative analysis of the existing groups of methods to solve the problem, as well as the main problems encountered in the processing of video data.

Keywords: identification system, security, biometrics, video stream, image.

Статья поступила в редакцию 15.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

Математическое моделирование возникновения транспортного затора

В. И. Зензеров, Д. В. Бельков
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
belkovdv@list.ru, mpvik@3g.ua

Аннотация

Анализ теоретических подходов к построению моделей транспортных потоков и проблем, связанных с несоответствием результатов моделирования и результатов эмпирических исследований, позволило выявить недостатки существующих подходов. В статье предлагается новый подход к моделированию возникновения транспортных заторов с использованием алгоритма Бака-Снеппена, который позволит в большей мере добиться соответствующих реальности математических моделей для изучения поведения транспортных потоков. Исследование модели выполнено в среде Scilab.

Актуальность задачи

Анализ теоретических подходов к построению моделей транспортных потоков и проблем, связанных с несоответствием результатов моделирования и результатов эмпирических исследований, позволило выявить недостаточное внимание математическому моделированию возникновения транспортных заторов.

Задержка транспортного средства представляет собой вынужденную остановку или снижение скорости движения по сравнению с возможной скоростью движения на данном участке. Продолжительная по времени транспортная задержка преобразуется в транспортный затор.

Заторы на дорогах возникают постоянно, и это одна из проблем, с которой сталкивается сегодня автомобильный транспорт. Транспортный затор – это скопление на дороге транспортных средств, движущихся со средней скоростью, значительно меньшей, чем нормальная скорость для данного участка дороги. При образовании затора значительно снижается пропускная способность участка дороги. Если прибывающий поток транспорта превышает пропускную способность участка дороги, затор растёт лавинообразно. Дорожные заторы распространены по всему миру как результат увеличивающейся автомобилизации и урбанизации, так и увеличивающейся плотности заселения территории. Они уменьшают эффективность дорожно-транспортной инфраструктуры, увеличивая время в пути, расход топлива и уровень загрязнения окружающей среды. В условиях затора резко возрастает вероятность дорожно-транспортного происшествия (ДТП). Ограничение и регулирование интенсивности движения может влиять на количество ДТП [1].

Транспортный затор является неподвижным либо вялотекущим состоянием

транспортного потока в результате его максимального уплотнения в связи с увеличением интенсивности движения превышающей пропускную способность участка транспортной сети.

Заторы могут появляться без особой причины. Случайное незначительное снижение скорости одного автомобиля оказывается достаточным, чтобы выстроилась большая пробка. Пробки имеют фрактальный характер: внутри больших пробок есть пробки меньшего размера. В результате возникает движение в режиме «старт-стоп».

Известно, что дорожное движение на скоростной магистрали является примером розового шума. Он возникает из-за масштабной инвариантности лавин в самоорганизованно-критической системе. В случае дорожного движения этот шум служит математическим описанием непредсказуемой езды рывками в дорожных пробках [2].

Цель и задачи работы

Целью статьи является повышение эффективности дорожно-транспортной инфраструктуры за счет математического моделирования возникновения транспортного затора на основе модели Бака-Снеппена. В работе решаются задачи построения и исследования этой модели. Приведены результаты вычислительного эксперимента, выполненного в среде Scilab.

Трехфазная модель трафика

В 1996–2002 годах Б. С. Кернер с сотрудниками концерна Даймлер провели детальные исследования эмпирических данных, измеренных с помощью датчиков на многочисленных скоростных автомагистралях мира (в Германии, Голландии, Англии, США). Главный результат этих исследований был такой: «Теории транспортного потока и математические

модели, которые доминируют в настоящее время в научных журналах и учебных курсах большинства университетов, не могут объяснить ни сам переход от свободного к плотному потоку (traffic breakdown), ни основные свойства возникающих в результате этого перехода структур транспортного потока» [3].

По этой причине Б. С. Кернер предложил и разработал альтернативную теорию транспортных потоков, названную теорией трех фаз, которая может предсказать и объяснить эмпирические свойства перехода к плотному потоку (traffic breakdown) и результирующих пространственно-временных структур в транспортном потоке.

Важно отметить имевшиеся на тот момент фундаментальные достижения по математической формулировке моделей транспортного потока, а также многочисленных эффектов взаимодействия между водителями.

К ним относится, в первую очередь, введенная в моделях ДМ-класса задержка водителей, приводящая к переторможению как реакции на замедление впереди; формулировка задержки водителей через модельные флуктуации, введенные в моделях Нагеля-Шрекенберга и А. Шашнайдера; микроскопическое описание slow-to-start rule в работах группы М. Шрекенберга [3]. Эти и другие математические формулировки в поведении водителя являются также важными элементами математических моделей трех фаз [3].

Несмотря на эти достижения, как было сказано выше, предшествующие модели не могут объяснить ни сам переход от свободного к плотному потоку, ни основные свойства возникающих пространственно-временных структур, наблюдаемых в эмпирических данных. Этот парадокс объясняется очень просто: анализ эмпирических данных, который позволил выявить фундаментальные эмпирические свойства перехода от свободного к плотному и основные свойства результирующих пространственно-временных структур, стал возможным только в конце 90-х годов, когда стало доступным огромное количество данных измерений со скоростных магистралей Германии и Голландии. Иными словами, выдающиеся ученые, которые создали многочисленные модели транспортного потока, перечисленные выше и многие другие, просто не могли знать, какими же реальными свойствами обладает переход от свободного к плотному транспортному потоку [3].

Эти фундаментальные эмпирические пространственно-временные свойства перехода от свободного к плотному потоку, а также другие фундаментальные эмпирические свойства фазовых переходов в транспортном потоке

детально описаны в [3]. В рамках данной статьи нет возможности остановиться на рассмотрении всех этих эмпирических свойств транспортного потока.

Фундаментальные эмпирические свойства перехода к плотному транспортному потоку следующие:

- переход к плотному транспортному потоку (traffic breakdown) является $F \rightarrow S$ переходом (буква F соответствует free flow, т. е. свободному потоку, буква S обозначает фазу синхронизованного потока, в английской литературе synchronized flow);

- вероятность спонтанного $F \rightarrow S$ перехода является растущей функцией величины потока АТС;

- может быть как спонтанный, так и индуцированный $F \rightarrow S$ переход около одного и того же узкого места на дороге (bottleneck).

Фундаментальные эмпирические свойства фазовых переходов в транспортном потоке следующие:

- в соответствии со свойствами 1–3, указанными выше, переход от свободного к плотному транспортному потоку (traffic breakdown) является $F \rightarrow S$ фазовым переходом I рода;

- широкие движущиеся кластеры (wide moving jams, обозначается ниже буквой J) возникают спонтанно только в синхронизованном потоке, т. е. в результате последовательности $F \rightarrow S \rightarrow J$ фазовых переходов;

- $S \rightarrow J$ фазовый переход происходит позднее и часто совсем в другом месте, чем $F \rightarrow S$ фазовый переход.

Теория трех фаз фокусируется главным образом на физике плотного транспортного потока на скоростных автомагистралях. И описывает три фазы транспортного потока, в то время как классические теории, базирующиеся на фундаментальной диаграмме транспортного потока, рассматривают две фазы: свободный поток и так называемый плотный поток (congested traffic в англ. терминологии). В плотном потоке выделяются две фазы, соответственно существуют три фазы транспортного потока:

- свободный поток – фаза F;

- синхронизованный поток – фаза S;

- широкий движущийся кластер (локальный движущийся затор, в английской литературе wide moving jam) – фаза J.

Фаза определяется как некоторое состояние транспортного потока, рассматриваемое в пространстве и времени.

Следует подчеркнуть, что в теории трех фаз разделение на свободный и плотный поток точно такое же, как и в классических теориях Лайтхилла-Уизема и Дженера [3].

Фундаментальное отличие теории Б. С. Кернера состоит в том, что он выделяет две фазы в плотном потоке на основе общих эмпирических пространственно-временных свойств транспортного потока, которые за все годы измерений остаются одни и те же на разных автодорогах мира.

Другими словами, как определение фаз транспортного потока, так и остальные положения теории, основаны исключительно на эмпирических данных.

В свободном транспортном потоке достаточно малой плотности водители могут практически свободно установить желаемую для них скорость.

В плотном транспортном потоке, который определяется так же, как и в классических теориях Лайтхилла-Уизема и Джеренал Моторс, скорость АТС меньше, чем минимально возможная скорость. Как следует из данных измерений, возникновение плотного потока обычно происходит вблизи неоднородности на автомагистрали, вызванной въездом на автомагистраль, съездом с нее, изменением числа полос, сужением дороги, подъемом и т. п. Такого типа неоднородность, вблизи которой может происходить переход к плотному транспортному потоку, в дальнейшем будем называть узким местом или «бутылочным горлом» [3].

Б. С. Кернер показал, что фундаментальная диаграмма и ее применения в том виде, как они используются в классических теориях транспортного потока, неадекватным образом описывают сложную динамику в плотном транспортном потоке. Он выделяет, таким образом, в плотном транспортном потоке фазу S синхронизованного потока, в англоязычной литературе «synchronized flow», и фазу J широкого движущегося кластера (локальный движущийся затор, «wide moving jam»).

Определение фаз [J] и [S] в плотном потоке является результатом общих пространственно-временных свойств реальных данных, полученных в результате ежедневных измерений параметров транспортного потока во многих странах на различных скоростных автодорогах в течение многих лет. Б. С. Кернер определил фазы J и S следующим образом:

– фаза [J] – задний по направлению движения фронт широкого движущегося кластера (локального движущегося затора), где АТС, выезжающие из кластера, ускоряются вплоть до свободного или до синхронизованного потока, движется против потока с постоянной средней скоростью, проходя через все узкие места на скоростной автомагистрали. Это характеристическое свойство широкого движущегося кластера;

– фаза [S] – задний по направлению движения фронт области синхронизованного потока, где АТС ускоряются вплоть до свободного потока, не обладает характеристическим свойством широкого движущегося кластера. В частности, задний фронт синхронизованного потока часто фиксирован вблизи узкого места на скоростной автомагистрали.

Необходимо подчеркнуть, что определение фаз [J] и [S] вытекает из эмпирических пространственно-временных свойств плотного потока, т.е. исходно не имеет никакого отношения к какой-либо математике.

Данные измерений средней скорости АТС (рис. 1) иллюстрируют определения [J] и [S]. На рис. 1 имеются две пространственно-временные структуры плотного потока с низкой скоростью АТС. Одна из них распространяется против потока с почти постоянной скоростью заднего фронта через все узкие места на скоростной автомагистрали.

Согласно определению [J], эта область плотного потока относится к фазе «широкого движущегося кластера». Напротив, задний фронт другой области плотного потока фиксирован вблизи места съезда с автомагистрали. Согласно определению [S], эта область плотного потока относится к фазе «синхронизованного потока» (рис. 1).

Переход от свободного к плотному потоку в англоязычной литературе известен как traffic breakdown. В теории трех фаз такой переход объясняется возникновением фазы синхронизованного потока, т.е. F→S фазовым переходом. Такое объяснение основывается на имеющихся данных измерений, которые показывают, что после возникновения плотного потока вблизи узкого места на автомагистрали задний фронт возникшего плотного потока фиксирован вблизи этого узкого места. Таким образом, возникший плотный поток удовлетворяет определению [S] фазы синхронизованного потока. В самом деле, типичный пример перехода из свободного в синхронизованный поток возникает вблизи въезда. В то время как скорость АТС резко уменьшается в процессе перехода, поток меняется мало. Скачок скорости при мало меняющемся потоке особенно наглядно виден на рис. 1. В течение всего времени после перехода задний фронт между плотным и свободным потоками фиксирован на въезде дороге. По этой причине плотный поток соответствует определению фазы синхронизованного потока, поэтому весь плотный поток относится к фазе синхронизованного потока.

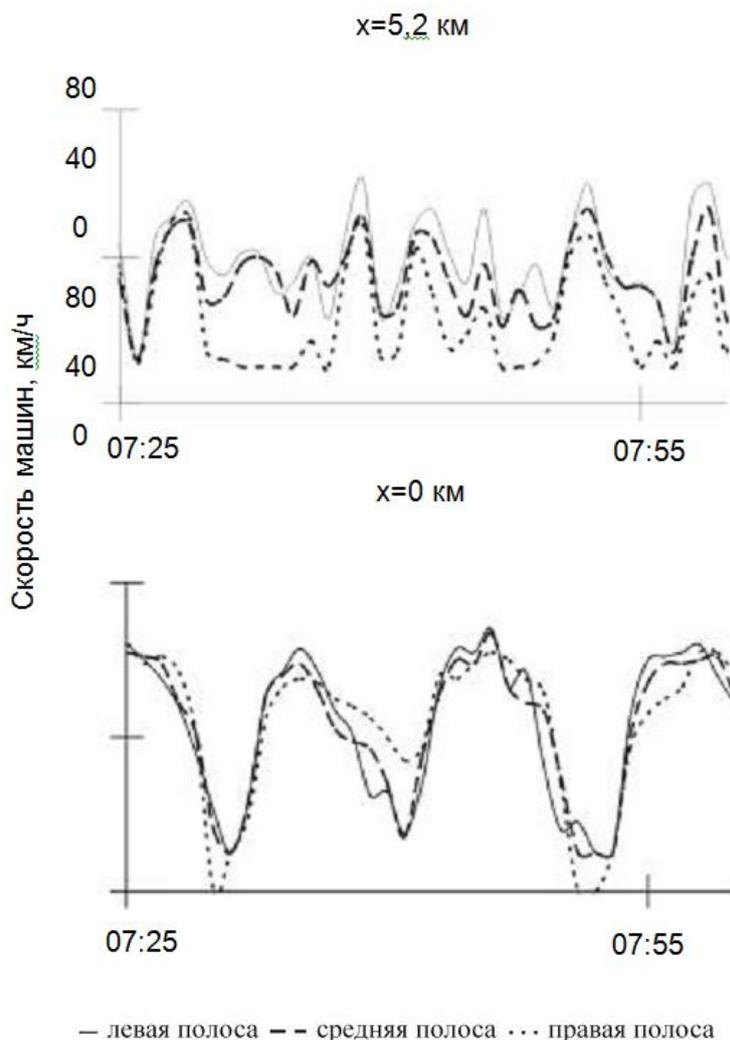


Рисунок 1 – Эмпирический пример возникновения широких движущихся кластеров в синхронизованном потоке на трех полосах дороги

Теория СОК

На основу математического моделирования подобных явлений претендует теория самоорганизованной критичности (СОК), которая сформулировала целый ряд эвристически ёмких объяснительных схем. Моделирование по алгоритмам СОК позволяет в ряде случаев значительно расширить исследовательские возможности. Имитационные компьютерные модели играют особую роль в теории СОК. Ключевой моделью теории является генератор розового шума, известный как модель эволюции которую создали совместно Пер Бак и Ким Снеппен. Данная модель оказалась удачным генератором розового шума и распространилась на объяснение многих иных, кроме эволюции, процессов. Несмотря на использование в ней источника случайных чисел, сама виртуальная структура и правила, по которым внутри неё возникают и распространяются события, могут быть сопоставлены с вполне реальными прототипами (реальными событиями и известными

принципами взаимодействия элементов моделируемой системы). Использование источника случайных чисел позволяет относительно легко получать имитации процессов «в грубом приближении», т. е. описанных на высоком абстрактном уровне. Это весьма ценно в теоретическом плане, поскольку задаёт вектор моделирования и поддерживает классические схемы.

Одной из простых моделей генерации розового шума является модель Бака-Снеппена. Первоначально она была предложена для моделирования эволюции. Затем данная модель применялась для объяснения многих реальных процессов [4, 5].

Генераторы розового шума представляются весьма продуктивной виртуальной платформой для создания моделей различных процессов. Поскольку, как оказалось, таких процессов в физическом и социальном мире огромное множество, то, соответственно, эта стратегия имитационного моделирования имеет серьёзные перспективы.

Для генерирования «хорошего» искусственного розового шума, строго говоря, можно обойтись источником случайных чисел и «подгонкой» сигнала под заданные параметры. Для получения тестовых образцов розового шума можно использовать свободно распространяемый код пакетов Scilab.

Изложение материала исследования

Модель Бака-Снеппена представляет собой кольцо элементов. В первоначальный момент времени каждому из элементов назначается в качестве параметра случайное число, например, в диапазоне от 0 до 1. Затем определяется элемент с минимальным параметром. Это «слабое звено» системы и его параметр заменяется новым случайным значением. Кроме этого, заменяются новыми случайными значениями параметры двух непосредственных соседей «слабого» элемента.

В этом заключается один цикл работы модели. После большого числа итераций система приходит в состояние динамического равновесия (критическое состояние), которое иногда может нарушаться. Такое прерывистое равновесие называется перемежаемостью. Оно заключается во вспышках высокой активности, прерывающих состояние относительного покоя, когда ее уровень низок или равен нулю. Причем в длительности интервалов между вспышками и в их амплитуде не прослеживается никаких явных правил. Прерывистое равновесие характерно для многих областей, таких как биологическая эволюция, гидродинамика, сейсмология, экономика [6].

Выполним компьютерное моделирование транспортного потока с выявлением мест возникновения транспортных заторов в среде Scilab. Результаты вычислительного эксперимента показаны на рис. 2-б.

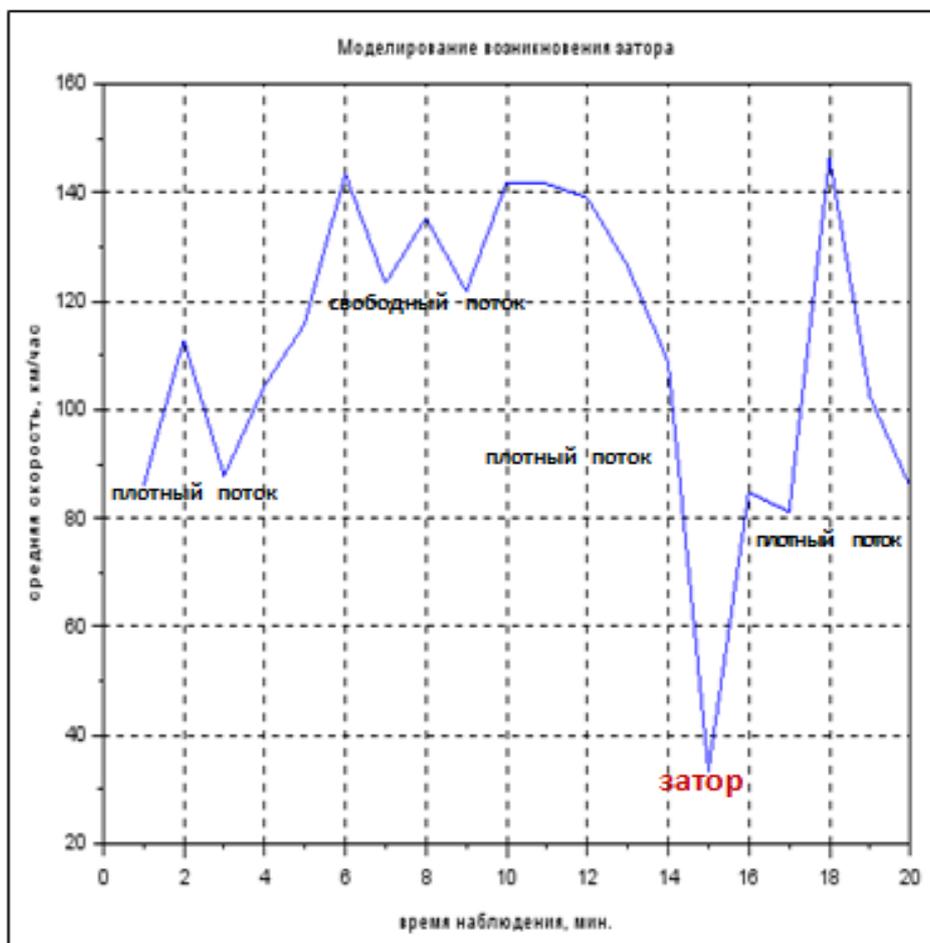


Рисунок 2 – Изучаемый динамический ряд

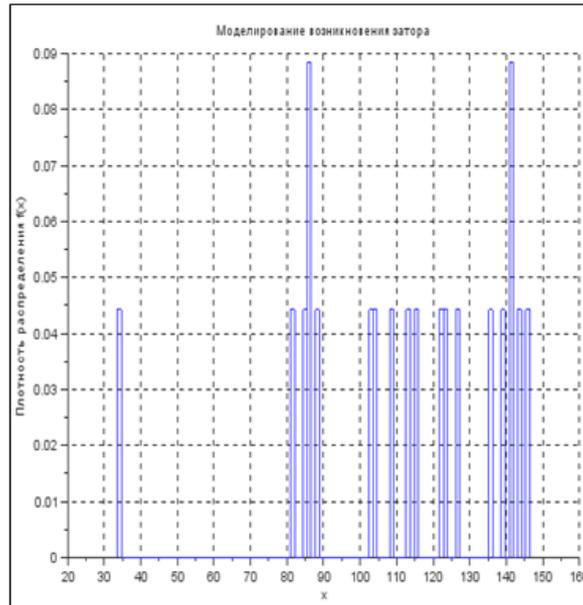


Рисунок 3 – Плотность распределения

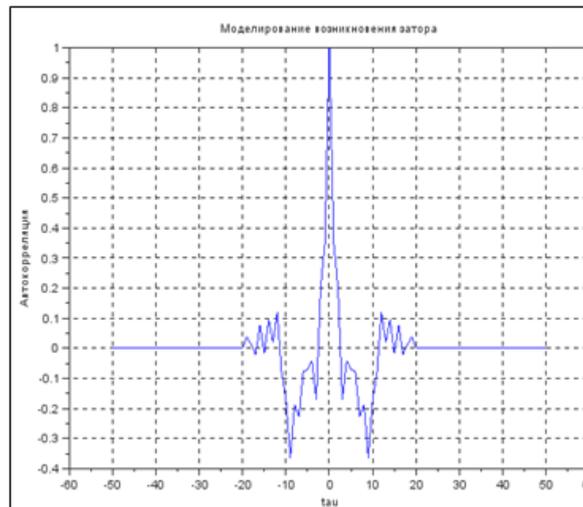


Рисунок 4 – АКФ динамического ряда

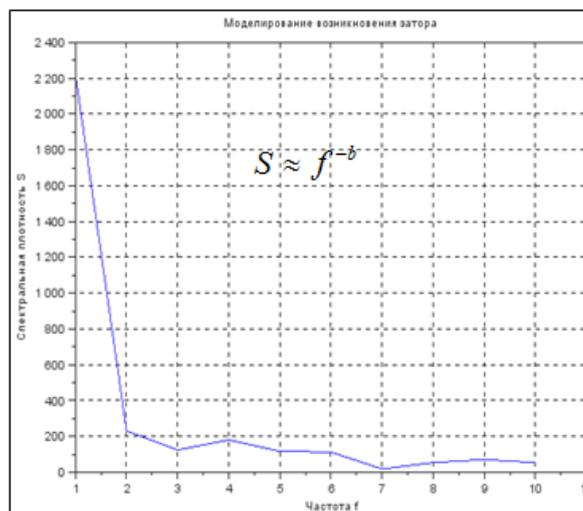


Рисунок 5 – Спектральная плотность

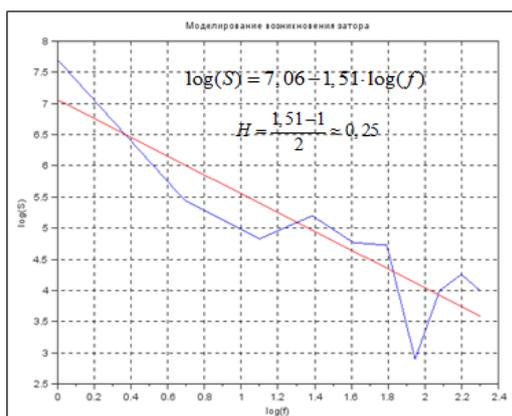


Рисунок 6 – Зависимость $\log(S)$ от $\log(f)$

Выводы

Для транспортных потоков характерно обнаруженное на практике свойство фрактальности. В связи с этой особенностью актуальной является разработка конструктивных методов анализа возникновения транспортного затора. В данной работе предложена модель транспортного затора с использованием алгоритма Бака-Снеппена. Выполнен анализ плотности распределения, автокорреляционной функции и энергетического спектра, полученного динамического ряда. Определено значение показателя Херста H . Получены следующие результаты: изучаемый временной ряд является антиперсистентным, не подчиняется нормальному распределению, не имеет экспоненциально спадающей АКФ, свойственной случайному ряду. Антиперсистентный розовый шум является характерным свойством транспортного потока.

Зензоров В. И., Бельков Д. В. Математическое моделирование возникновения транспортного затора. Анализ теоретических подходов к построению моделей транспортных потоков и проблем, связанных с несоответствием результатов моделирования и результатов эмпирических исследований, позволило выявить недостатки существующих подходов. В статье предлагается новый подход к моделированию возникновения транспортных заторов с использованием алгоритма Бака-Снеппена, который позволит в большей мере добиться соответствующих реальности математических моделей для изучения поведения транспортных потоков. Исследование модели выполнено в среде Scilab.

Ключевые слова: транспортный затор, само организованной критичности, генератор розового шума, алгоритм Бака-Снеппена.

Zenzorov V., Belkov D. Mathematical design of origin of a transport congestion. An analysis of theoretical approaches to the construction of traffic flow models and problems associated with the discrepancy between the simulation results and the results of empirical research allowed us to identify the shortcomings of the existing approaches. The article proposes a new approach to modeling the occurrence of traffic congestion using the Buck-Sneppen algorithm, which will make it possible to achieve more relevant mathematical models for studying the behavior of traffic flows. The research is executed in the Scilab environment.

Keywords: transport congestion, self-organized criticality, generator of pink noise, the algorithm of the Buck-Sneppen.

Транспортный поток обладает всеми свойствами изучаемого временного ряда. Поэтому алгоритм Бака-Снеппена можно использовать при моделировании возникновения транспортного затора. Это актуально для повышения эффективности дорожно-транспортной инфраструктуры за счет математического моделирования.

Литература

1. Транспортный поток // [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.manytransport.ru/maors-1152-2.html>
2. Бак П. Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. Москва: Либрокком, 2013–276 с.
3. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А., Холодов Я. А., Шамрай Н. Б.; Приложения: Бланк М. Л., Гасникова Е. В., Замятин А. А. и Мальшев В. А., Колесников А. В., Райгородский А. М.; Под ред. А. В. Гасникова. - М.: МФТИ, 2010. - 362 с.]
4. Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. Evolution as a self-organized critical phenomenon. // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. № 11. P. 5209-5213.
5. Жуков Д. С., Лямин С. К. Генераторы розового шума как инструмент имитационного моделирования // Ineternum. № 1, 2014. – С 43-46.
6. Модель Бака-Снеппена / [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.cognitivist.ru/er/kernel/1f_soc.xml

Статья поступила в редакцию 18.02.2019

Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа

Е. В. Перинская

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
elenaperinskaya@mail.ru

Аннотация

При производстве продукции в ряде отраслей промышленности важным этапом является процесс перемешивания влажной многокомпонентной массы рабочего материала. Для реализации процесса создается дополнительное специализированное оборудование, основу которого составляют узлы, осуществляющие перемешивание исходных материалов. В статье рассматривается задача математического моделирования и автоматизации проектирования аппаратов для получения смесей с заданными свойствами.

Введение

При производстве продукции в ряде отраслей промышленности (металлургия, химическая промышленность, производство строительных материалов, обогащение полезных ископаемых и т. п.) важной стадией получения полезного продукта является процесс перемешивания исходного материала, представляющего собой влажную многокомпонентную массу. Целью этого процесса является получение однородной смеси с заданными свойствами и отправки её на дальнейшую обработку.

Для реализации процесса создаётся дополнительное оборудование, основу которого составляют узлы, осуществляющие конвективное перемешивание исходной массы. Определение параметров оборудования представляет собой сложную задачу, экспериментальное решение которой требует больших затрат средств и времени, поэтому важной становится задача разработки математических моделей и системы автоматизированного проектирования оборудования с применением компьютерных технологий. В этой связи тема работы является актуальной.

Теоретический анализ. Ряд неметаллических материалов, используемых в технике (в частности, ферриты, вяжущие смеси строительных материалов), получают путем осаждения твердой фазы из суспензии [1]. Математические модели процессов получения суспензии в аппаратах с конвективными компонентами основываются на уравнениях в частных производных и позволяют исследовать основные параметры технологического оборудования [2, 3]. Вместе с тем, для создания качественного оборудования, осуществляющего процесс, важно иметь средства автоматизированного проектирования, позволяющие сократить сроки разработки на

основе применения компьютерных технологий. Задачей данной работы является определение одного из возможных путей решения проблемы автоматизации проектирования специализированного оборудования.

Цель работы – обоснование структуры системы автоматизированного проектирования технологического оборудования для реализации процесса получения многокомпонентных материалов из технологического сырья.

Задача исследования – разработка функционально-логической схемы системы и алгоритмов взаимодействия ее подсистем.

Основные результаты исследования

Технологическая постановка задачи.

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немислимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых устройств и процессов. Традиционные методы расчета параметров и проектирования носят экстенсивный характер, они были эффективны до определенного момента – момента так называемого «насыщения», когда на первый план выдвигается необходимость перехода к интенсивным методам.

Среди средств интенсификации процессов исследования и проектирования выделяются системы автоматизированного проектирования. Однако эффективность процесса не всегда в полной мере отвечает поставленным требованиям. Одной из причин этого является то, что на этапе проектирования предварительная оценка схем весьма затруднена ввиду сложности процесса. Применение математического моделирования позволяет улучшить качество принимаемых проектных решений. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования

технологических схем, призванная повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций.

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и верификация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и ЭВМ.

Рассмотрим задачу проектирования на примере аппарата для получения ферритового материала [4].

Основные технологические требования к аппарату следующие:

– аппарат должен быть машиной непрерывного действия, иметь, верхний перелив для вывода суспензии и нижний спуск для освобождения рабочего объема;

– объем аппарата – от 10 м^3 (уточняется в процессе проектирования);

– необходимо предусмотреть паровую рубашку для обеспечения температуры $53 \pm 2^\circ\text{C}$;

– аппарат должен обеспечить стабильные условия получения осадков с постоянными характеристиками;

– аппарат должен иметь регулируемое число оборотов мешалки для получения осадков с регулируемой дисперсностью, удельная поверхность осадков не должна превышать $0,5 \text{ м}^2/\text{г}$;

– интенсивность перемешивания в аппарате должна обеспечить получение однородных (гомогенных) осадков и отсутствие в реакторе «мертвых» зон, где происходит накопление крупных частиц, а также отсутствие налипания на стенках;

– аппарат должен быть оборудован вытяжной вентиляцией.

В соответствии с выдвигаемыми требованиями можно выделить 3 уровня задач математического моделирования процесса [4]:

– исследование гидродинамики процесса с целью выявления условий и параметров, обеспечивающих стабильный непрерывный гидродинамический режим, близкий к режиму идеального перемешивания;

– исследование физики процесса (конвективная диффузия, теплообмен, массоперенос) с целью выявления условий параметров, обеспечивающих образование суспензии с постоянными физическими свойствами (гранулометрический состав, удельная поверхность твердой фазы и т. п.);

– исследование химической кинетики процесса (химическая кристаллизация) с целью выявления условий и параметров образования

осадка (твердой фазы суспензии) с комплексом постоянных физико-химических свойств (фазовый химический состав и т. п.).

В системе проектирования рассматривается решение задачи моделирования 1-го и частично 2-го уровней.

Условная гидродинамическая схема реактора приведена на рис. 1.

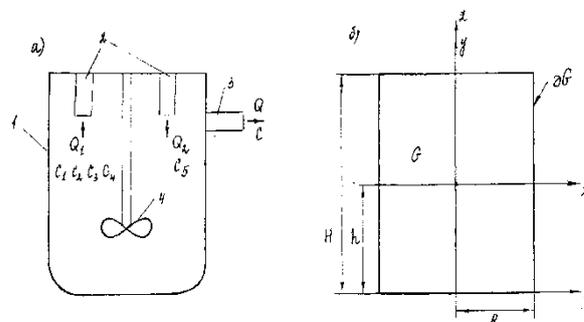


Рисунок 1 – Схема построения математической модели аппарата:

а) 1 – корпус, 2 – входные трубопроводы, 3 – верхний перелив (выходной трубопровод), 4 – мешалка;

б) к выбору координат и построению различных типов моделей.

Математическая формулировка задачи.

Будем строить математическую модель процесса перемешивания многокомпонентной смеси в химическом реакторе с учетом вынужденной конвекции массы. Конвекция происходит за счет перемешивания смеси лопастью, угловая скорость вращения которой ω .

Рассматривается следующая задача. В области G (конвективный аппарат, рис. 1б) требуется определить концентрацию твердой фазы, учитывая при этом вихревые течения раствора, продольную и поперечную диффузию, форму реактора и угловую скорость вращения лопасти, причем процесс перемешивания происходит в реакторе за заданное время T . В полной математической постановке данная задача есть задача с четырьмя неизвестными: концентрациями твердой и жидкой фазы, функцией тока и поверхностью кристаллизации.

Будем строить математическую модель процесса перемешивания многокомпонентной смеси в химическом реакторе с учетом вынужденной конвекции массы. Конвекция происходит за счет перемешивания смеси лопастью, угловая скорость вращения которой ω .

Такие задачи относятся к классу краевых задач со свободной границей и являются нелинейными. Численное решение таких задач содержит большие математические трудности, так как заранее неизвестно положение поверхности, отделяющей твердую фазу от жидкой. Эту поверхность необходимо определять в процессе решения задачи.

Математическое моделирование процесса.

Строится приближенная модель процесса перемешивания в химическом реакторе. Основным упрощением является то, что мы предполагаем концентрацию жидкой фазы постоянной, хотя и неизвестной величиной. Это упрощение вызвано тем, что нас в дальнейшем интересует только твердая фаза.

Перейдем теперь к описанию основных типов моделей.

Простейшей моделью является модель идеального перемешивания. При этом концентрация твердой фазы является функцией только времени, т. е. $C = C(t)$. Модель построена таким образом, чтобы она учитывала концентрации компонент C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 (это соответственно концентрации серноокислых солей железа, марганца, цинка, никеля и раствор углеаммонийной соли, т. е. растворы $FeSO_4, MnSO_4, ZnSO_4, NiSO_4$ и $NH_4H(O_3)$), поступающих в химический раствор. Первые четыре компонента поступают с расходом Q_1 л/мин, а последняя компонента с расходом Q_2 л/мин. Учитывается также расход $Q = Q_1 + Q_2$ раствора, выходящего из химического реактора объема V за время T . При сделанных предположениях наша задача сводится к решению линейного обыкновенного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами. Решение этой задачи выписывается в явном виде.

Второй моделью является одномерная модель перемешивания многокомпонентной среды в химическом реакторе с учетом вихревого течения раствора. При этом поле скоростей раствора рассчитывается в плоском случае. Введя функцию тока $\psi(x, y)$, мы определяем ее из решения краевой задачи для уравнения Пуассона. Граничным условием является обращение в нуль на границе функции тока. Концентрация твердой фазы $C(x, t)$ определяется из решения краевой задачи для уравнения диффузии с учетом конвекции, вызванной вращением лопасти. Граничные условия – это условия непроницаемости на стенках реактора. Данная модель построена на основе модели идеального перемешивания и является естественным продолжением простейшей модели, так как она учитывает все параметры модели идеального перемешивания.

Рассмотрены также осесимметрическая и плоская модели перемешивания в химическом реакторе. Отличие от указанных выше моделей состоит в том, что концентрации являются соответственно функциями пространственных координат $C(r, t)$ и $C(x, y, t)$.

Варианты моделей. Краевые задачи

Обозначим через $C(t)$ концентрацию твердой фазы в случае модели идеального

перемешивания. Тогда $C(t)$ является решением следующей задачи Коши:

$$\frac{V}{T} \cdot \frac{dC}{dt} = Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 - Q \cdot C \quad (1)$$

$$C(0) = C_0, \quad Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 – концентрации компонент, поступающих в виде раствора, причем первые четыре поступают с расходом Q_1 л/мин, а последняя компонента с расходом Q_2 л/мин; V – объем реактора, T – время перемешивания, C_0 – начальная концентрация.

Задача (1), (2) описывает модель идеального перемешивания. Решение этой задачи имеет вид:

$$C(t) = C_0 \cdot \exp\left(-\frac{T \cdot Q}{V} \cdot t\right) + \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5}{Q} \left[1 - \exp\left(-\frac{T \cdot Q}{V} \cdot t\right)\right] \quad (3)$$

Каждая частица, находящаяся в реакторе, обладает вектором скорости (в плоском случае):

$$\vec{V} = V_x \cdot \vec{i} + V_y \cdot \vec{j},$$

где V_x и V_y соответственно абсцисса и ордината вектора \vec{V} .

В нашем случае вектор \vec{V} удовлетворяет уравнениям:

$$\text{rot} \vec{V} = \mu(x, y), \quad (x, y) \in G = (0 < x < 1, 0 < y < 1) \quad (4)$$

$$\text{div} \vec{V} = 0, \quad (x, y) \in \partial G \quad (5)$$

Граничным условием является обращение в нуль нормальной составляющей \vec{V}_n вектора \vec{V} на границе G , т. е.:

$$\vec{V}_n = 0, \quad (x, y) \in \partial G. \quad (6)$$

Краевая задача (4)-(6) определяет поле скоростей частиц в химическом реакторе.

Укажем также, что в дальнейшем в качестве функции удобно взять такую функцию:

$$\mu(x, y) = \frac{\omega}{v(l^2 x^2 + h^2 y^2)}, \quad x \neq 0, y \neq 0, \quad \mu(0, 0) = \omega \quad (7)$$

где ω – угловая скорость вращения лопасти (мешалки), v – коэффициент вязкости раствора, h – характерный поперечный размер реактора, l – продольный размер реактора.

Введя функцию тока $\psi(x, y)$ запишем задачу(4)-(6)в другом виде:

$$\frac{1}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{1}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \mu(x, y), (x, y) \in G \quad (8)$$

$$\psi(x, y) = 0, (x, y) \in \partial G \quad (9)$$

При этом вектор скорости \vec{V} и функция тока $\psi(x, y)$ связаны следующими равенствами:

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}; V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad (10)$$

В случае одномерной модели перемешивания концентрация $C(t, x)$ твердой фазы (осадка) является решением следующей краевой задачи:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 - QC}{V} \quad (11)$$

$$0 < x < 1, t > 0$$

$$C_x(t, 0) = C_x(t, 1) = 0 \quad (12)$$

$$C(0, x) = C_0 \quad (13)$$

Здесь D_L – продольный коэффициент диффузии; абсцисса вектора \vec{v} , т. е. V_x , определяется из первого условия (10). Краевая задача (11)-(13) является одномерной моделью химического реактора.

Аппроксимация расчетных соотношений основывается на линеаризации и максимальном упрощении уравнений, описывающих процесс.

На рис. 2 приведена обобщенная блок-схема алгоритма функционирования головной программы.

Блок 1 содержит информацию о составе и свойствах материала, поступающего на обработку. Информация представляется в виде массива или файла с как можно более полным набором характеристик.

В блоке 2 помещается информация о тех характеристиках конечного продукта, которые должны быть обеспечены в результате переработки.

Основные из них – это влажность и концентрация на выходе и производительность аппарата, однако в процессе исследований могут быть рассмотрены и другие показатели.

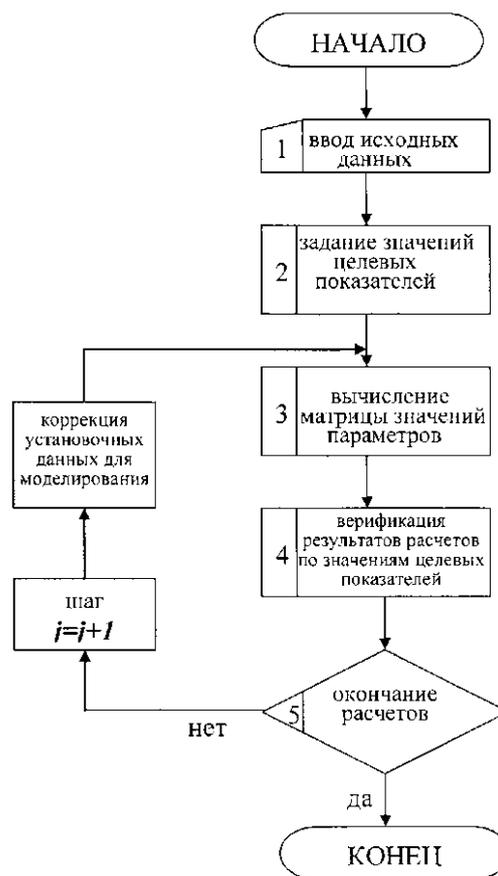


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма головной программы

Блок 3 – основной расчетный блок. Здесь выполняется численная реализация всех математических моделей, включаемых в предметную область САПР. На данном этапе это математические модели распределения температуры материала в рабочем объеме аппарата, скорости частиц и концентрации обрабатываемого материала.

Как результат работы блока получают значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

В блоке 4 выполняется верификация расчетных значений параметров по заданным значениям показателей, определяющих требования к конечному продукту. Верификация может быть построена как по принципу «консенсуса», когда отклонение хотя бы одного параметра вызывает необходимость коррекции исходных данных и повторения моделирования, так и по интегральному принципу с использованием, например, метода наименьших квадратов.

На рис. 3 приведена функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса.

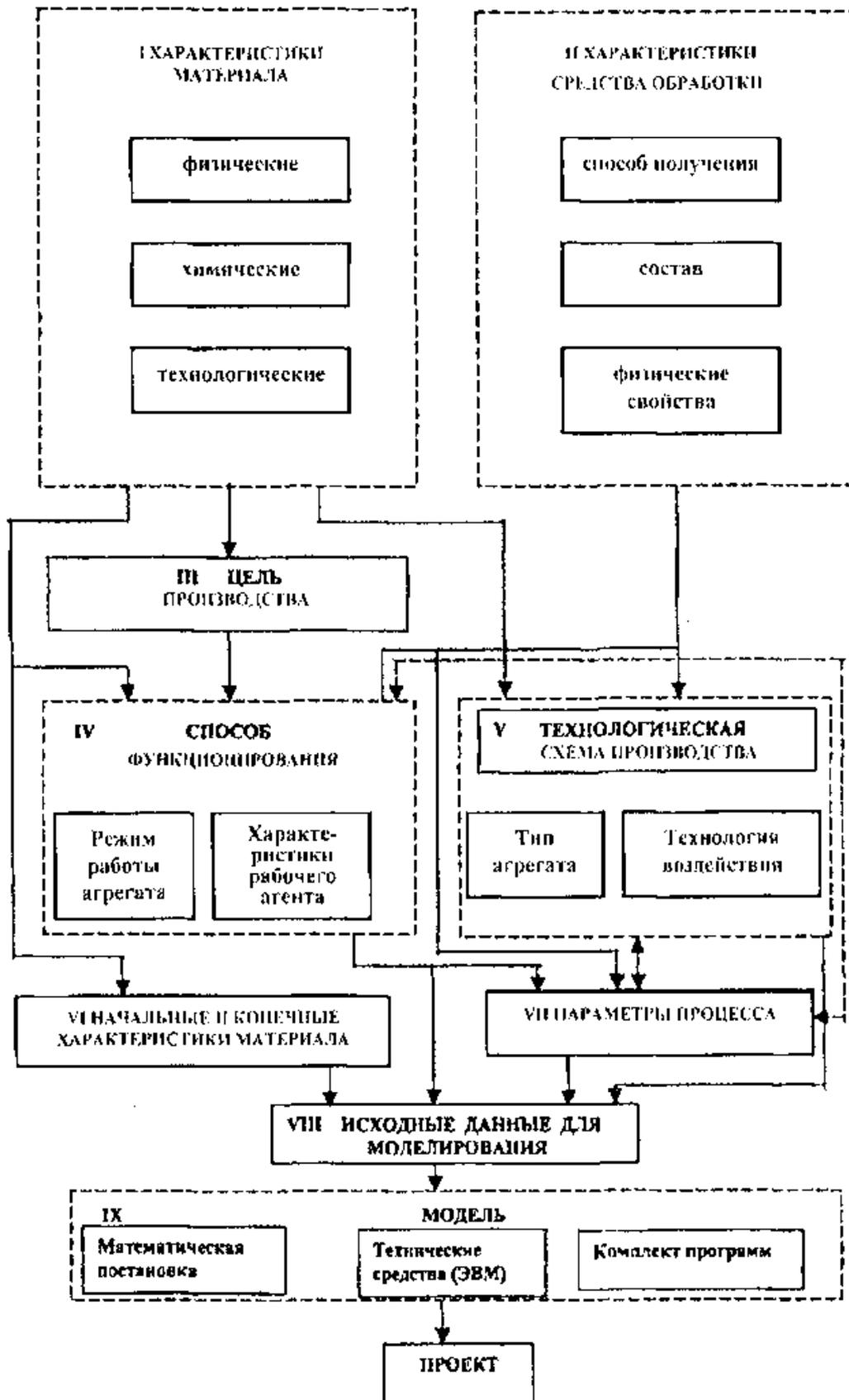


Рисунок 3 – Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования

На основании построенной математической модели могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений угольных предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования.

Выводы

Разработана структура системы автоматизированного проектирования специализированного оборудования для вспомогательного процесса получения сопутствующего материала при обогащении полезных ископаемых, разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы. Основным преимуществом системы автоматизированного проектирования является то, что с ее помощью удается получить достаточно полную информацию о различных вариантах проекта, при этом избежать массы рутинных операций и необходимости проведения значительного количества дорогостоящих экспериментов.

Литература

1. Вассерман И. М. Химическое осаждение из растворов. – Л.: Химия, 1980 – 208 с., ил.
2. Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Математическое моделирование машин, включающих узлы конвективного типа. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, - 2002. - Выпуск 21. - с. 178-184.
3. Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Моделирование и расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы и дополнительные конструкции. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов - Донецк: ДонНТУ, 2004,-Выпуск 28.- с. 224-230.
4. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых: монография / Павлыш В. Н., Назимко Е. И., Корчевский А. Н., Перинская Е. В., Серафимова Л. И., Голиков А. С. // под общ. ред. проф. Павлыша В. Н. и проф. Назимко Е. И. – Донецк: «ВИК», 2014. – 466 с.

Перинская Е. В. Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа. При производстве продукции в ряде отраслей промышленности важным этапом является процесс перемешивания влажной многокомпонентной массы рабочего материала. Для реализации процесса создается дополнительное специализированное оборудование, основу которого составляют узлы, осуществляющие перемешивание исходных материалов. В статье рассматривается задача математического моделирования и автоматизации проектирования аппаратов для получения смесей с заданными свойствами.

Ключевые слова: система, математическая модель, конвекция, проект, алгоритм.

Perinskaya E. The mathematical modeling and automatic projecting of apparatus, contains convective type devises. During production made in some industry branches the important stage is the process of moist multi-component dealing material mass mix. For this process realizing the additional special equipment, based on devises mixing initial materials is created. In the article the problem of mathematical modeling and automatic projecting of apparatus for obtaining of materials with given properties is considered.

Keywords: system, mathematical model, convection, project, algorithm.

Статья поступила в редакцию 17.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

УДК 734.001.57

Математическое моделирование термодинамических процессов в ограниченной сплошной среде

И. В. Тарабаева, Г. Б. Перетолчина
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
inkatar1@yandex.ru

Аннотация

Представлены результаты построения детерминированных математических моделей, основанных на уравнениях математической физики, для исследования процессов динамического распределения температуры в сплошной среде ограниченных размеров.

Введение

В ряде отраслей промышленности важной стадией при получении продукции являются термодинамические процессы, происходящие в сплошной среде с ограниченными размерами, что особенно характерно для металлургической промышленности, процессов обогащения углей, производства ряда химических материалов и др., поэтому на повестке дня стоит задача всесторонних исследований процессов для модернизации параметров технологии. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование состава математической модели для теоретических исследований термодинамических процессов в сплошной среде ограниченных размеров.

Основное содержание работы

Имеющийся математический аппарат уравнений в частных производных позволяет моделировать распределение исследуемых величин по сечению ограниченного пространства.

Математический аппарат для построения модели

Основные уравнения, используемые для построения моделей, представляют собой частный случай системы Навье-Стокса:

$$\rho \left(u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{dP}{dx} + \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

где ρ – плотность сплошной среды, кг·с²/м⁴;

μ – коэффициент вязкости, кг·с/м²;

P – давление, кг/(м·с²);

$u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$ – компоненты вектора скорости:

$$\vec{w} = \vec{i} u + \vec{j} v.$$

Введем характерные параметры:
 l – характерный размер (например, длина камеры), м;
 V – характерная скорость, м/с.
Примем безразмерные величины:

$$x' = \frac{x}{l}, \quad y' = \frac{y}{l}, \quad u' = \frac{u}{V}, \quad v' = \frac{v}{V}.$$

Тогда система (1)-(2) примет вид:

$$\rho \left(\frac{V^2}{l} u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{V^2}{l} v' \frac{\partial u'}{\partial y'} \right) = - \frac{1}{l} \frac{dP}{dx'} + \frac{V}{l^2} \mu \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0.$$

Уравнение (1) перепишем в виде:

$$u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \cdot \frac{\partial u'}{\partial y'} = - \frac{1}{\rho V^2} \cdot \frac{dP}{dx'} + \frac{\mu}{\rho V l} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}$$

Здесь $\mu/\rho V l$ – безразмерный параметр число Рейнольдса.

Отдельно рассмотрим слагаемое

$$\frac{1}{\rho V^2} \cdot \frac{dP}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{P}{\rho V^2} \right),$$

где $\rho = const$, $V = const$.

Величина $P/(\rho \cdot V^2)$ является безразмерным давлением:

$$P = P/(\rho \cdot V^2).$$

Тогда система (1)-(2) переходит к виду:

$$u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \cdot \frac{\partial u'}{\partial y'} = - \frac{dP'}{dx'} + \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0. \quad (4)$$

Дальнейшее преобразование системы (3)-(4) направлено на исключение числа Рейнольдса:

$$v'' = v' \sqrt{\text{Re}}, \quad y'' = y' \sqrt{\text{Re}},$$

Тогда

$$\begin{cases} u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{v''}{\sqrt{\text{Re}}} \cdot \sqrt{\text{Re}} \cdot \frac{\partial u'}{\partial y''} = -\frac{dP'}{dx'} + \frac{\text{Re}}{\text{Re}} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y''^2} \\ \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v''}{\partial y''} = 0 \end{cases}$$

Переобозначив переменные (опустив штрихи), получим окончательную систему:

$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{dP}{dx} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

В этой системе все величины безразмерные. Физический смысл условия (6) состоит в том, что внутри области источники и стоки отсутствуют:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \text{div } \vec{w} = 0.$$

Массовые силы, т. е. силы тяжести в системе (5)-(6) отсутствуют, т. к. при движении однородной жидкости ($\rho = \text{const}$) они исключаются из (5).

Для достижения поставленной цели необходимо провести теоретические исследования процесса математического моделирования с использованием детерминированных моделей [3, 4]. При переходе от безразмерных величин к реальным значениям параметров в качестве начальных и краевых условий принимаются технические характеристики оборудования, находящегося в эксплуатации.

Математическая модель распределения температуры

Рассматривается следующая задача. В ограниченной области G с заданными точечными источниками тепла требуется определить распределение температуры в сплошной среде с известными свойствами.

Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение есть уравнение эллиптического типа.

Дифференциальное уравнение распределения температуры и краевые условия

имеют следующий вид:

$$\omega \cdot c \cdot \rho \frac{\partial u}{\partial x} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \alpha \cdot (u - T_s). \quad (7)$$

Краевые условия:

при

$$0 \leq x \leq l \quad \left. \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \right|_{y=h} = 0;$$

при

$$0 \leq y \leq h \quad \left. \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \right|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} \right|_{x=l} = 0;$$

при

$$(x, y) \in \Gamma_K \quad \frac{\partial u(x, y)}{\partial y} = 0;$$

при

$$(x, y) \in D_K \quad u(x, y) = U,$$

где

U – температура поступающего газа;
 c – удельная теплоемкость сыпучей среды;
 ρ – плотность среды;
 ω – скорость поступающего газа;
 k – коэффициент теплопроводности среды;
 α – коэффициент теплообмена;
 T_s – температура внешнего слоя (окружающей среды).

Для решения полученной краевой задачи она сводится к безразмерному виду, когда $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$. Полученная в результате сеточной аппроксимации система линейных алгебраических уравнений решается методом матричной прогонки, предложенным М. В. Келдышем [5].

Алгоритм численного решения строится на основании следующих соображений.

Введем сетку $x_i * y_j$:

$$\begin{aligned} x_i &= i\Delta x, \quad i=0,1,\dots,M, \quad M\Delta x=l; \\ y_j &= j\Delta y, \quad j=0,1,\dots,N, \quad N\Delta y=h. \end{aligned}$$

Обозначим:

$$\begin{aligned} u_{ij} &= u(x_i, y_j); \\ \omega c \rho &= \gamma; \\ \alpha(u - T_s) &= f(u). \end{aligned}$$

Неявная схема аппроксимации:

$$\begin{aligned} \gamma \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x} &= k \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \\ &+ k \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} + f(u_{i,j}). \end{aligned}$$

Пусть p , q , r , g соответственно приближенное решение системы:

Запишем систему для решения методом матричной прогонки [5]:

$$\begin{aligned} -\frac{2\Delta y^2 \rho_{i,j}}{kg_{i,j}\Delta x} &= (p_{i,j+1} + p_{i,j})p_{i+1,j+1} - \\ &- \left(p_{i,j+1} + 2p_{i,j} + p_{i,j-1} - \frac{2\Delta y^2 \gamma}{kg_{i,j}} \right) p_{i+1,j} + \\ &+ (p_{i,j} + p_{i,j-1})p_{i+1,j-1} \\ i &= 0, 1, \dots, M-1, \quad j = 1, 2, \dots, N-1; \\ q_{i+1,j} &= q_{i,j} + \frac{kg_{i,j}}{2\gamma\Delta y^2} * [(q_{i,j+1} + q_{i,j})p_{i+1,j+1} - \\ &- (q_{i,j+1} + 2q_{i,j} + q_{i,j-1})p_{i+1,j} + (q_{i,j} + q_{i,j-1})p_{i+1,j-1}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{i+1,j} &= r_{i,j} + \frac{kg_{i,j}}{\gamma\Delta y^2} * \left[(r_{i,j+1} + r_{i,j})p_{i+1,j+1} - \right. \\ &- (r_{i,j+1} + 2r_{i,j} + r_{i,j-1})p_{i+1,j} + (r_{i,j} + r_{i,j-1})p_{i+1,j-1} \left. \right] \\ r_{i \in \Gamma_k} &= T_s, \quad r_{i \in D_k} = U; \\ -\frac{kp_{i,j}}{\gamma\Delta y} g_{i+1,j+1} + \left(\frac{kp_{i,j}}{\gamma\Delta y} - \frac{1}{\Delta x} \right) g_{i+1,j} &= -\frac{1}{\Delta x} g_{i,j}, \\ g_{i,0} &= T_s, \quad g_{i_k,0} = U. \end{aligned}$$

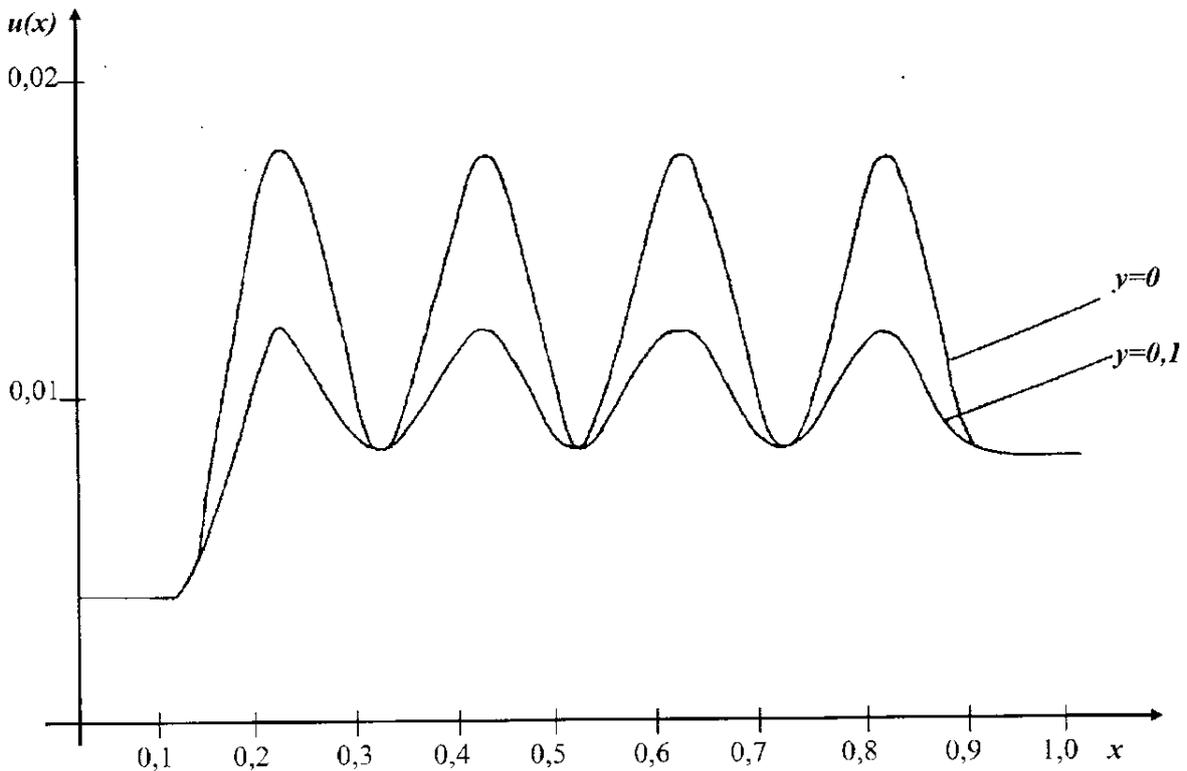


Рисунок 1 – График зависимости температуры $u(x)$ для $y=0, y=0,1$ в безразмерных величинах

В результате реализации алгоритма численного решения данной задачи на ЭВМ разработана программа, позволяющая рассчитывать распределение температуры в сечении области.

На рис. 1 приведен результат решения задачи в безразмерном виде, где отражена качественная картина процесса распределения температуры в плоскости осевого сечения Ox при двух фиксированных значениях координаты y : при $y=0$ получается распределение температуры на нижней границе, локальные максимумы наблюдаются в точках, соответствующих источникам тепла, при удалении от нижней границы (кривая, соответствующая безразмерному значению $y=0,1$) температура материала становится ниже,

что соответствует физике процесса (рассматривается слой материала, более удаленный от источника тепла).

Как следует из рисунка, характер кривой при изменении координаты y не изменяется, она имеет выраженные локальные максимумы в тех же точках, изменяется только фактический показатель температуры в сторону уменьшения, что свидетельствует об адекватности модели в качественном аспекте.

Выводы

Разработанные математические модели адекватно отражают термодинамические процессы в ограниченной области сплошной среды, рассматриваемой как объект

с распределенными параметрами, и могут быть использованы для совершенствования технологии.

Литература

1. Математическое моделирование процессов обезвоживания обогащенного минерального сырья: монография / Павлыш В. Н., Назимко Е. И., Тарабаева И. В., Науменко В. Г., Перинская Е. В. // под общ. ред. проф. В. Н. Павлыша, проф. Е. И. Назимко. – Донецк: «ВИК», 2014. – 286 с.

2. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых: монография / Павлыш В. Н., Назимко Е. И., Корчевский А. Н., Перинская Е. В., Серафимова Л. И., Голиков А. С. // под общ. ред. проф. В. Н. Павлыша, проф. Е. И. Назимко. – Донецк: «ВИК», 2014. – 463 с.

3. Павлыш В. Н., Тарабаева И. В. Математическое моделирование динамических характеристик процесса сушки обогащенных углей / «Вісник Криворізького технічного університету»: Збірник наукових праць, вип. 14.– Кривий Ріг, 2006.– с. 170 – 174.

4. Павлыш В. Н., Тарабаева И. В. Математическое моделирование процесса обезвоживания увлажненной горной массы / Физико-технические проблемы горного производства: Сборник научных трудов, выпуск 12: «Кинетика и термодинамика физических процессов в горном массиве». – Донецк, 2009.

5. Самарский А. А. Численные методы решения обратных задач математической физики / А. А. Самарский, П. Н. Вабишевич – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 480 с.

Тарабаева И. В., Перетолчина Г. Б. Математическое моделирование термодинамических процессов в ограниченной сплошной среде. Представлены результаты построения детерминированных математических моделей, основанных на уравнениях математической физики, для исследования процессов динамического распределения температуры в сплошной среде ограниченных размеров.

Ключевые слова: процесс, температура, исследование, математическая модель, уравнение.

Tarabayeva I., Peretolchina G. The mathematical modeling of thermodynamical process in limited continuous environment. The results of construction of determined mathematical models, based on equations of mathematical physics, for investigation of dynamical temperature distribution process in continuous environment with limited size is considered.

Keywords: process, temperature, investigation, mathematical model, equation.

*Статья поступила в редакцию 17.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.*

Медицинская информационно-аналитическая система с речевым управлением для анализа результатов операций

О. И. Федяев, В. С. Бакаленко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
fedyayev@donntu.org, valeriy.bakalenko@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрена разработка медицинской информационно-аналитической системы принятия решений при лечении органов брюшной полости пациентов. Структура системы предусматривает формирование предварительного диагноза состояния пациента на основе нейросетевого и статистического анализа электронной медицинской карты. Для оперативного контроля состояния больного в ходе операции или получения быстрой консультации в случае возникновения критической ситуации в системе предусмотрена экспертная оценка происходящего с возможностью речевого диалога хирурга с интеллектуальной системой.

Введение

Некоторые важнейшие вопросы анализа и управления на уровне клиник до сих пор остаются нерешенными или решаются недостаточно эффективно [1]. Во многих лечебных учреждениях отсутствует единая информационная база данных о результатах проведенных операций и не применяются автоматизированные средства интеллектуального анализа данных, что затрудняет объективную оценку проведенных операций и препятствует их более широкому применению в медицинской практике.

Однако, современные операционные теперь все больше и больше «интегрированы» в связи с улучшением оборудования для медицинской визуализации с высокой разрешающей способностью и повышенной возможностью использовать большое количество визуальных данных из операционной [2]. Для современных хирургических процедур «интегрированный» подход очень востребован. Начиная с 2018 года, для развития электронного здравоохранения Минздрав России рассматривает возможность запуска специальных систем, оказывающих помощь врачу в принятии решений.

Поэтому данная работа посвящена развитию цифровой медицины в направлении создания и применения интеллектуальных систем поддержки принятий решений, математических методов в медицине, которые позволяют получить новое качество обработки медицинских данных.

Структура информационно-аналитической медицинской системы

Объектом анализа и управления является профильное лечебное подразделение, в котором больной пациент лечится амбулаторно или путём

проведения хирургической операции (рис. 1).

Управляющая часть представлена информационно-аналитической системой принятия решения. В ней основным компонентом является ситуационная экспертная система, которая оценивает ситуацию с больным в статическом (при амбулаторном лечении) или в динамическом режиме, т. е. в ходе оперативного вмешательства. Основными функциями экспертной системы, которые могут быть реализованы в настоящее время, являются:

- предварительная диагностика состояния пациента на основе интеллектуального анализа персональных медицинских показателей;
- автоматическая запись и сохранение телеметрии в ходе операции для последующего анализа;
- аудио-видео отображение результатов интеллектуального анализа статических параметров и данных телеметрии;
- прогнозирование динамики эффективности лечения больного для каждой применяемой методики с целью выработки наиболее благоприятной тактики лечения;
- оперативная оценка состояния больного на основе телеметрии о процессе проведения операции для непрерывного многопараметрического контроля хода проведения операции или восстановления в послеоперационный период;
- консультирование хирургов в случае критических ситуаций, которые могут неожиданно возникнуть в ходе операции, в режиме речевого диалога с экспертной системой;
- построение виртуальной операционной («умной операционной»), используемой в качестве тренажера для обучения интернов путём имитации различных сценариев проведения операции в режиме реального времени.

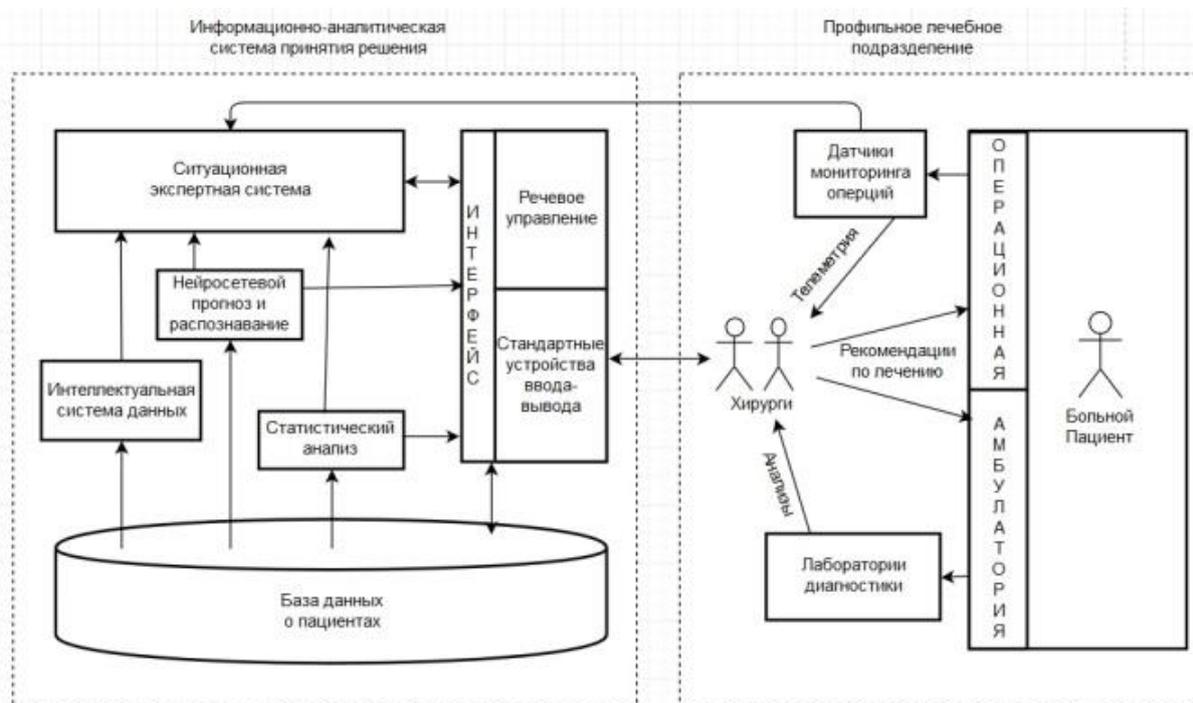


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема информационно-аналитической системы

Структура базы данных о пациентах

Медицинский профиль лечебного подразделения, для которого создаётся система принятий решений, ориентирована на лечение сочетанных заболеваний толстой кишки и органов брюшной полости. Информационная база данных для описания параметров лечения этого типа заболевания использует реляционную модель данных. В базе данных насчитывается более 70 атрибутов, которые разбиты на четыре группы: информация о пациенте, об операциях пациента, о гистологических данных пациента, о результатах различных анализов. Конкретные значения кортежей предоставила кафедра общей хирургии № 1 ГОУВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького».

Проектирование базы данных выполнено по объектно-ориентированной технологии. Диаграмма классов и реляционные таблицы реализованы программными средствами IDE IntelliJ IDEA. Остальные диаграммы созданы в бесплатном приложении для создания диаграмм – Dia.

Нейросетевое прогнозирование исхода лечения

В работе использовался метод интеллектуального анализа данных, основанный на построении нейросетевой модели прогнозирования исхода лечения пациента. Эта задача классификации предполагает выявление закономерности в многомерных данных «с учителем». Искомая функциональная

зависимость имеет очень сложную природу и её трудно выразить в обычных терминах корреляций и различий между группами. Однако методом нейронных сетей можно решить эту задачу, т. е. выявить зависимость исхода лечения пациента от параметров его медицинской карты на множестве собранных в базе данных примеров.

В работе была построена трёхслойная нейросеть (рис. 2), которая обучалась по стратегии «с учителем» на обучающем множестве

$$\{(X, Y)\},$$

где X – вектор параметров электронной медицинской карты;

Y – исход лечения пациента.

Каждый столбец таблицы (обучающего множества) обозначается X с порядковым номером и может принимать различные значения, а уровень исхода лечения Y измеряется степенью благоприятности исхода лечения пациента в диапазоне от 0 до 1. Вектор входных сигналов состоит более чем из 30 компонент, обозначаемых X_n , где n – порядковый номер компонента, соответствующий столбцу из медицинской базы электронных карт пациентов. На обучение нейросети необходимо около 1000 эпох.

Построенная таким образом нейросетевая экспертная система позволяет прогнозировать исход лечения больного пациента, предсказывая степень благоприятности, выбранной врачами методики (рис. 3).

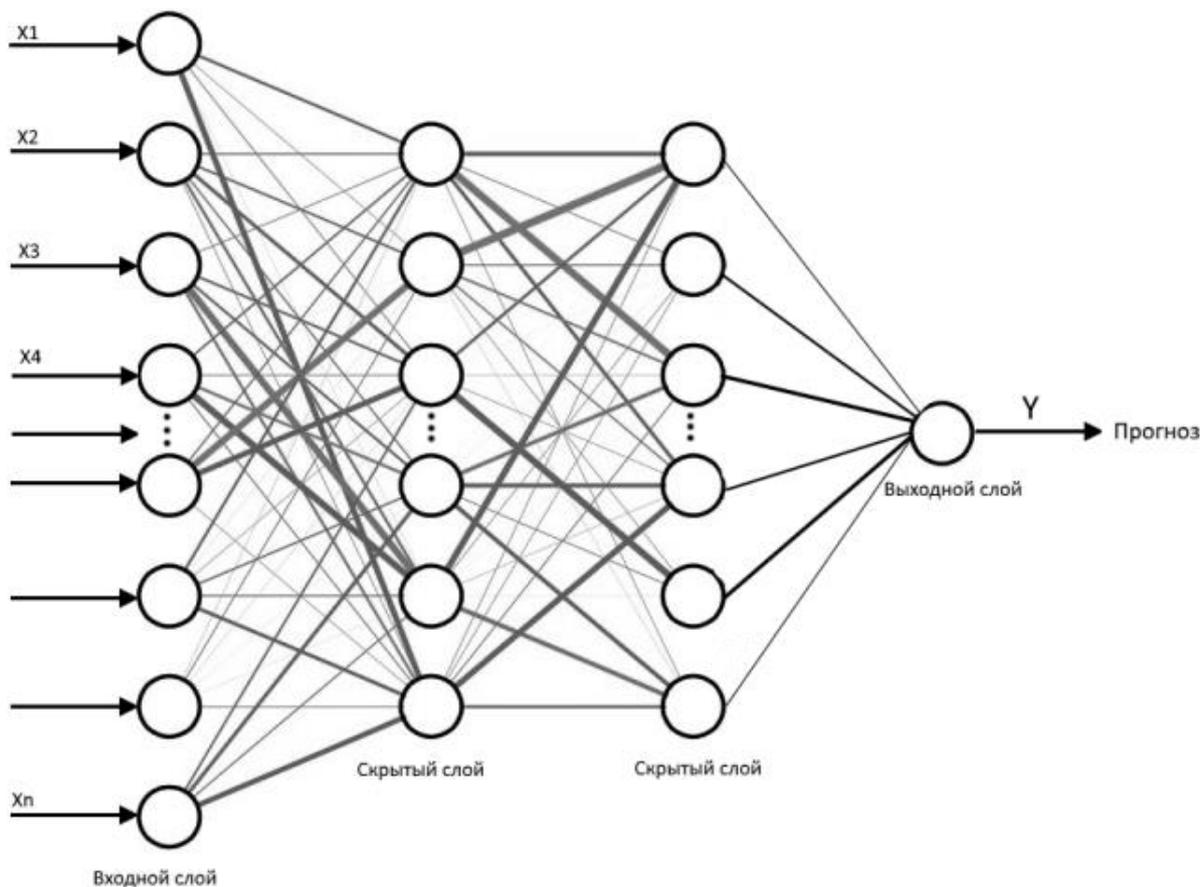


Рисунок 2 – Структура нейронной сети для прогнозирования исхода лечения

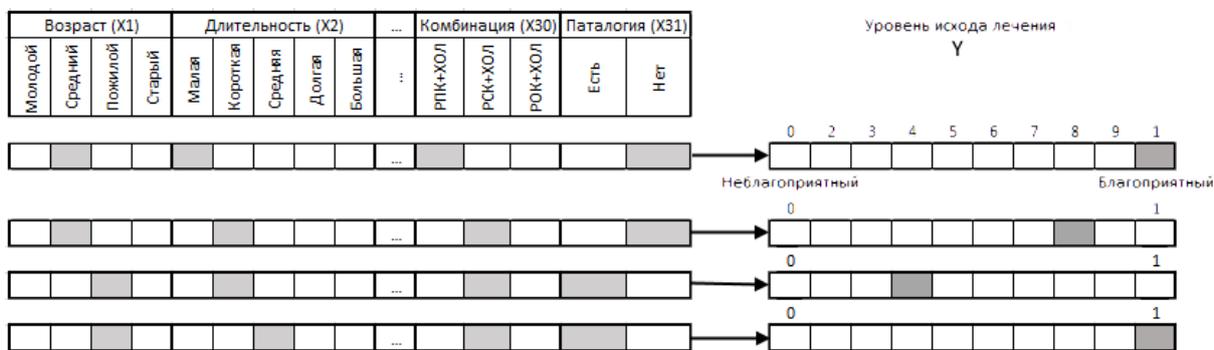


Рисунок 3 – Схема формирования входных сигналов X по электронным картам пациентов и соответствующие результаты прогноза исхода их лечения

Автоматическое извлечение знаний из базы данных пациентов

Источником знаний является реляционная база данных, в которой собраны электронные медицинские карты всех пациентов. Для автоматического индуцирования знаний алгоритмом C4.5 необходимо выполнение ряда требований к структуре данных в базе медицинских электронных карт пациентов, при выполнении которых данный алгоритм будет работоспособен.

Данные должны быть представлены в виде плоской таблицы. Вся информация об

объектах из предметной области должна описываться в виде конечного набора атрибутов. Каждый атрибут должен иметь дискретное или числовое значение. Количество атрибутов должно быть фиксированным для всех примеров. При соблюдении этих требований данные из базы собираются в единую структурированную плоскую таблицу и все значения атрибутов кодируются.

Каждый пример должен быть ассоциирован с конкретным классом, т. е. один из атрибутов должен быть выбран в качестве метки класса.

Классы должны быть дискретными, т. е. иметь конечное число значений. Каждый пример должен однозначно относиться к конкретному классу. Случаи, когда примеры принадлежат к классу с вероятностными оценками, исключаются. Количество классов должно быть значительно меньше количества примеров.

При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы.

В работе программно был реализован следующий алгоритм С4.5. Пусть задано множество примеров T (исходная таблица), где каждый элемент этого множества описывается m атрибутами. Количество примеров в множестве T определяет мощность этого множества, которую будем обозначать $|T|$. Пусть метка класса принимает следующие значения $C_1, C_2 \dots C_k$. Задача заключается в построении иерархической классификационной модели в виде дерева из множества примеров T . Процесс построения дерева происходит сверху вниз. Сначала создается корень дерева, затем потомки корня и т. д.

На первом шаге имеем пустое дерево и исходное множество T . Требуется разбить исходное множество на подмножества. Это делается путём выбора одного из атрибутов в качестве проверки. Тогда в результате разбиения получаются n подмножеств и, соответственно, создаются n потомков корня, каждому из которых ставится в соответствие своё подмножество, полученное при разбиении множества T . Затем эта процедура рекурсивно применяется ко всем потомкам корня [3].

Введём функцию $freq(C_j, S)$ – количество примеров из некоторого множества S , относящихся к одному и тому же классу C_j . Тогда вероятность того, что случайно выбранный пример из множества S будет

принадлежать к классу C_j будет равна

$$P = \frac{freq(C_j, S)}{|S|}. \quad (1)$$

Согласно теории информации, количество содержащейся в сообщении информации, зависит от её вероятности

$$\log_2 \frac{1}{P}. \quad (2)$$

Выражение

$$Info(T) = \sum_{j=1}^k \frac{freq(C_j, T)}{|T|} * \log_2 \frac{freq(C_j, T)}{|T|} \quad (3)$$

даёт оценку среднего количества информации, необходимого для определения класса примера из множества T .

В терминологии теории информации выражение (3) называется энтропией множества T .

Ту же оценку, но только уже после разбиения множества T по X , даёт следующее выражение:

$$Info_x(T) = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} * Info(T_i). \quad (4)$$

Тогда критерием для выбора атрибута будет являться следующая формула:

$$Gain(X) = Info(T) - Info_x(T). \quad (5)$$

Критерий (5) вычисляется для всех атрибутов таблицы. Выбирается атрибут, который максимизирует данное выражение [4]. Этот атрибут будет являться проверкой в текущем узле дерева и по нему производится дальнейшее построение дерева. Из полученного таким образом дерева решений составляется набор продукционных правил, фрагмент которых показан на рис. 4.

1. ЕСЛИ	<u>Сопутствующая патология</u> = Отсутствует, Работает = Да, <u>Дыхательная патология</u> = Отсутствует, Инвалидность = Нет, <u>Мочеполовая система</u> = Нарушений нет
ТО	Лечение = успешно.
2. ЕСЛИ	<u>Сопутствующая патология</u> = Отсутствует, Работает = Нет, Пол = Мужской, Возраст = Средний, <u>Тип операции</u> = Симультанная
ТО	Лечение = неуспешно.

Рисунок 4 – Фрагмент набора продукционных правил после раскодирования

Программная реализация данного алгоритма позволяет автоматизировать извлечение знаний из базы данных пациентов для ситуационной экспертной системы.

Выводы

Проблемы в области медицины, которые, как известно, не имеют однозначных решений, сопровождаются большим объёмом информации.

В статье рассмотрена разработка медицинской информационно-аналитической системы принятия решений при лечении органов брюшной полости пациентов.

Структура системы предусматривает формирование предварительного диагноза состояния пациента на основе нейросетевого и статистического анализа электронной медицинской карты.

Для оперативного контроля состояния больного в ходе операции или получения быстрой консультации в случае возникновения критической ситуации в системе предусмотрена экспертная оценка происходящего с возможностью речевого диалога хирурга с интеллектуальной системой.

Программная реализация информационной системы выполнена на языке программирования Java в инструментальной среде IDE IntelliJ IDEA. Система, построенная по открытому принципу, предусматривает возможность расширения своих функций.

Литература

1. ИТ в здравоохранении / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/medit/2018/10/13054507.html> (дата обращения: 05.03.19).
2. Интегрированные операционные залы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.winnermedical.com.ua/integririvannye-operacionnye-zaly> (дата обращения: 10.03.19).
3. Технологии анализа данных / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/> (дата обращения: 01.03.19).
4. С4.5: Алгоритмы для машинного обучения. Morgan Kaufmann Publishers / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rulequest.com/Personal/> (дата обращения: 05.03.19).

Федяев О. И., Бакаленко В. С. Медицинская информационно-аналитическая система с речевым управлением для анализа результатов операций. В статье рассмотрена разработка медицинской информационно-аналитической системы принятия решений при лечении органов брюшной полости пациентов. Структура системы предусматривает формирование предварительного диагноза состояния пациента на основе нейросетевого и статистического анализа электронной медицинской карты. Для оперативного контроля состояния больного в ходе операции или получения быстрой консультации в случае возникновения критической ситуации в системе предусмотрена экспертная оценка происходящего с возможностью речевого диалога хирурга с интеллектуальной системой.

Ключевые слова: извлечение знаний, нейронные сети, речевой интерфейс, информационно-аналитическая система, оперативные вмешательства.

Fedyayev O., Bakalenko V. Medical information and analytical system with voice control for analyzing the results of operations. The article discusses the development of medical information-analytical decision-making system in the treatment of abdominal organs of patients. The structure of the system provides for the formation of a preliminary diagnosis of the patient's condition based on neural network and statistical analysis of the electronic medical record. For the operative control over the patient's condition during the operation or to receive a quick consultation in the event of a critical situation, the system provides for an expert assessment of what is happening with the possibility of a surgeon's speech dialogue with the intellectual system.

Keywords: knowledge extraction, neural networks, speech interface, information-analytical system, operative interventions.

*Статья поступила в редакцию 24.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.*

Применение математического моделирования для решения задачи повышения эффективности управления состоянием угольного пласта

Л. А. Лазебная

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

l.lazebnaya@mail.ru

Аннотация

На основании результатов математического моделирования технологических схем гидравлического воздействия на угольный пласт обоснован способ повышения эффективности процесса как средства управления его состоянием для снижения проявлений основных опасных явлений при подземной угледобыче.

Введение

Предварительная обработка угольных пластов жидкостями в различных режимах является важным средством решения проблемы борьбы с опасными явлениями в шахтах [1]. Одно из основных преимуществ этого способа – заблаговременное и необратимое изменение состояния угольного массива, позволяющее предупредить возникновение опасных явлений при ведении горных работ [2].

Результаты научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок легли в основу соответствующих разделов нормативных документов, регламентирующих необходимость и порядок применения предварительного нагнетания жидкости для борьбы с пылеобразованием и газодинамическими явлениями в угольных шахтах [1,2].

Анализ существующих способов нагнетания жидкостей в угольный пласт с целью управления его состоянием для борьбы с основными опасностями показывает, что необходимым условием высокой эффективности воздействия является равномерность гидравлической обработки угольного массива. К одной из основных причин недостаточно высокой эффективности увлажнения относится неравномерность распределения влаги в массиве, вызванная преимущественным движением жидкости по крупным трещинам и приводящая к недостаточному повышению влажности больших блоков угля, тогда как на других участках пласта прирост влажности может превышать требуемое значение.

Эффективность гидравлического воздействия по управлению состоянием пласта зависит от качества обработки пласта, которое определяется тем, насколько равномерно распределяется нагнетаемая жидкость в обрабатываемой зоне пласта. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование способа повышения качества насыщения зоны воздействия рабочей жидкостью и обеспечения эффективности процесса гидравлической обработки угольного пласта с применением метода математического моделирования.

Основное содержание работы

Основной причиной недостаточной равномерности обработки является фильтрационная анизотропия угольного пласта. Повышение качества увлажнения является важным путем повышения эффективности гидровоздействия.

Одним из важных путей совершенствования способов гидравлического воздействий на угольный пласт является исследование процессов движения жидкости в массиве и определение на основе этого рациональных технологических схем, режимов, параметров нагнетания. Опыт работ в данном направлении доказывает, что наряду с экспериментальными методами значительных результатов в этой области можно достичь с помощью математического моделирования процессов, происходящих при нагнетании в угольный пласт веществ, обладающих текучестью (жидкости, газы, аэрозоли, суспензии). Применение этого метода позволяет установить характеристики процессов фильтрации жидкости и воздуха в глубине массива, недоступные для непосредственного определения в натуральных условиях, исследовать влияние свойств угольного пласта и параметров воздействия в широком диапазоне их изменения на распределение нагнетаемых веществ в пласте, избегая при этом значительных трудовых и материальных затрат, необходимых для проведения шахтных экспериментов. В связи с этим очевидна целесообразность дальнейшего расширения применения математического моделирования процессов гидравлического воздействий на угольный пласт и увязки

получаемых результатов с потребностями практики [3].

Рассмотрим процесс гидрообработки пласта.

Наиболее перспективными с точки зрения качества обработки являются длинные скважины, пробуренные из пластовых подготовительных выработок параллельно линии очистного забоя. Расположение длинных скважин в ненарушенном массиве приводит к более равномерному распределению влаги по пласту, а длительное время контакта жидкости с углем – к глубокому ее проникновению в поры и трещины. Кроме того, нагнетание через длинные скважины производится независимо от технологического цикла угледобычи и является менее трудоемким.

Основная технологическая схема приведена на рис. 1.

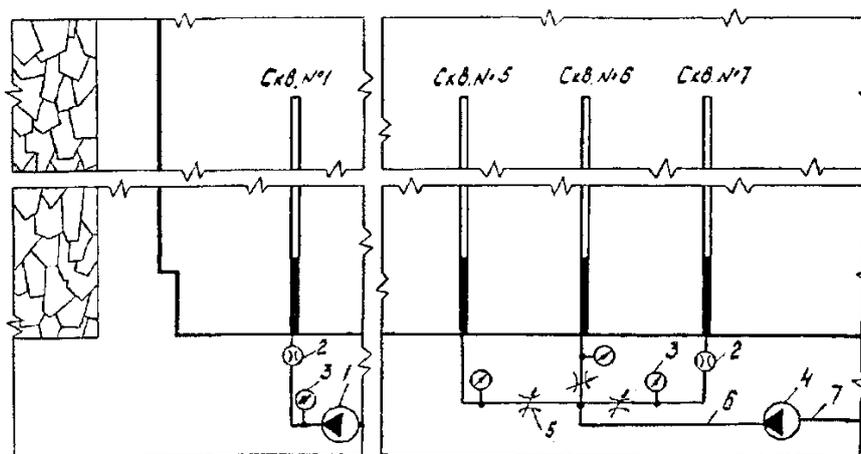
Массив угля как объект гидравлического воздействия характеризуется способностью принимать и фильтровать воду и газ, а также аккумулировать определенное их количество. Эти возможности характеризуются такими природными показателями как проницаемость и пористость.

Угольный пласт представляется как трещиновато-пористая структура, расположенная на большой глубине и находящаяся под нагрузкой вышележащих слоев горных пород. Уравнение, положенное в основу математической модели процесса нагнетания жидкости в плоскости XOY, имеет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi_x \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x(p) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \chi_y \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y(p) \frac{\partial p}{\partial y} \right]. \quad (1)$$

Для формирования математической модели уравнение дополняется краевыми условиями, которые определяются из соображений технологии процесса.

Поставленная краевая задача решается на ЭВМ методом конечных разностей. Как указывалось выше, основной причиной недостаточной эффективности воздействия является фильтрационная анизотропия пласта, что доказывается путем моделирования процесса при задании случайных значений коэффициента проницаемости в дискретных точках обрабатываемой зоны пласта.



- 1 – насосная установка НВУ-30м;
- 2 – счетчик-расходомер СРВД-20;
- 3 – манометр;
- 4 – насосная установка 2УГНМ;

- 5 – дроссель регулируемый;
- 6 – рукав высоконапорный;
- 7 – участковый водопровод

Рисунок 1 – Технологическая схема нагнетания воды через длинные скважины, параллельные линии очистного забоя

В результате компьютерного моделирования удалось обосновать способ преодоления отрицательного влияния анизотропии на качество обработки пласта. Этот способ заключается в применении каскадной схемы нагнетания.

Сущность каскадной технологии заключается в обеспечении равномерной обработки рабочей области пласта за счет создания встречных потоков жидкости при

одновременной работе соседних нагнетательных скважин.

Разработка критериев оценки эффективности каскадного способа по сравнению с применяемым нагнетанием через одиночные скважины основывается на требовании обеспечения равномерного насыщения обрабатываемой области рабочей жидкостью.

Равномерность обработки достаточно

полно определяется площадью необработанных участков и степенью разброса значений прироста влажности в проектной зоне воздействия. В связи с этим для оценки качества обработки выбраны:

– *показатель относительной величины необработанных участков:*

$$v = \frac{S_H}{S_{ПР}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где S_H – площадь необработанных участков;
 $S_{ПР}$ – площадь проектной зоны воздействия;

– *величина вариации относительного прироста влажности, определяемого в каждой точке дискретной области:*

$$V_R = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta W_i - \Delta \bar{W})^2}}{\Delta \bar{W}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

где ΔW_i – значение прироста влажности в i -й точке;

$\Delta \bar{W}$ – среднее значение прироста влажности по обрабатываемой зоне,

$$\Delta W_i = \frac{\Delta W_{расч\ i}}{\Delta W_{max}}, \quad (4)$$

где $\Delta W_{расч\ i}$ – прирост влажности в i -й точке;

ΔW_{max} – максимальный прирост влажности.

Для оценки эффективности каскадного воздействия будем пользоваться двумя показателями:

– *величиной относительного уменьшения необработанной площади:*

$$\mathcal{E}_s = \frac{S_{H.O} - S_{H.K}}{S_{H.O}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

где $S_{H.O}$ и $S_{H.K}$ – площадь необработанных участков при нагнетании через одиночную скважину и каскад соответственно;

– *величиной уменьшения вариации прироста влажности:*

$$\mathcal{E}_v = \frac{V_R^0}{V_R^k}, \quad (6)$$

где V_R^0, V_R^k – величины вариаций соответственно для одиночной скважины и каскада.

Разработка технологии каскадного нагнетания должна быть направлена на уменьшение степени влияния факторов, снижающих равномерность обработки, с учетом требований минимальной сложности, трудоемкости и использования серийно

выпускаемого оборудования.

На рис. 2 приведены результаты моделирования прироста влажности при увлажнении по традиционной схеме через одиночную скважину и через каскад из двух скважин, а в табл. 1 приведены результаты исследования эффективности каскадной технологии.

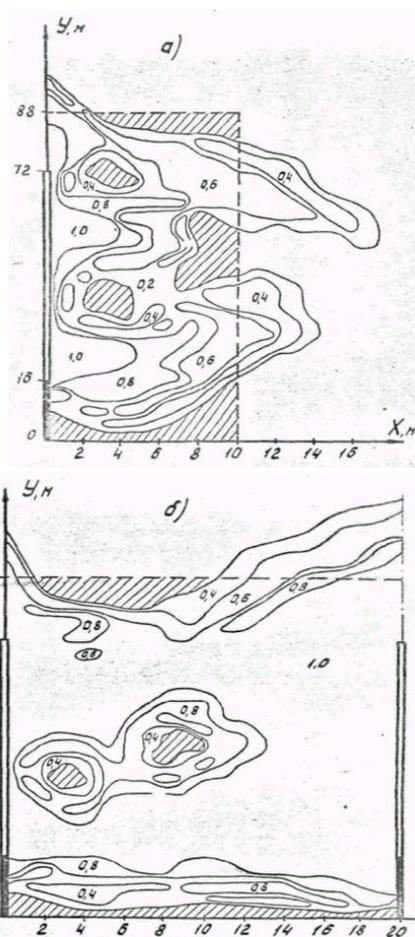


Рисунок 2 – Распределение прироста влажности при нагнетании через длинные скважины в режиме постоянного давления:

а) одиночная скважина; б) каскад скважин

Компьютерные исследования эффективности способа для различных условий показало, что при нагнетании жидкости через каскад скважин происходит снижение величины необработанной площади на 50-80 %, вариации прироста влажности - в 1,5-2 раза по сравнению с одиночной скважиной.

Экспериментальные исследования проводились в промышленных условиях ш. «Хрустальская» ГП «Донбассантрацит», ОП «Шахта им. А. А. Скочинского», ш. им. В. М. Бажанова ГП «Макееуголь». Результаты экспериментов подтверждают результаты математического моделирования (расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 15 %).

Таблица 1 – Показатели эффективности каскадной технологии

№ варианта	Равномерность обработки				Эффективность по сравнению с одиночной скважиной			
	$q_1 \neq q_2$		$q_1 = q_2$		$q_1 \neq q_2$		$q_1 = q_2$	
	$v, \%$	$V_R^0, \%$	$v, \%$	$V_R^k, \%$	$\mathcal{E}_s, \%$	\mathcal{E}_v	$\mathcal{E}_s, \%$	\mathcal{E}_v
Длинные скважины								
1	4,2	27,3	3,0	24,3	68,4	1,8	77,5	2,0
2	4,8	31,2	2,2	25,7	71,0	1,9	86,7	2,4
3	5,1	30,5	2,3	24,8	71,3	2,0	87,0	2,5
4	3,4	25,1	2,6	22,2	77,1	2,4	82,4	2,7
5	4,3	30,2	2,9	25,3	76,2	2,1	84,0	2,5
6	6,3	30,6	4,6	28,1	67,0	1,8	75,8	2,0
7	4,5	31,4	4,1	26,2	74,1	1,9	76,4	2,3
8	4,4	33,0	2,3	28,0	77,4	2,0	88,4	2,3
9	8,5	42,6	4,2	35,8	62,3	1,6	81,4	2,0
10	8,1	40,1	3,8	31,3	65,7	1,6	83,9	2,0
Ср. знач.	5,4	32,2	3,2	27,1	70,5	1,9	82,6	2,2
Короткие скважины								
1	9,5	46,2	7,0	40,3	60,7	1,7	71,0	2,0
2	6,7	40,3	5,3	36,2	69,2	1,6	75,6	1,9
3	8,9	44,0	6,1	35,5	67,7	1,8	77,8	2,3
4	10,7	45,8	7,5	41,6	57,5	1,6	70,2	1,8
5	12,3	50,1	8,4	47,0	64,2	1,6	75,5	1,7
Ср. знач.	9,6	45,3	6,9	40,1	63,8	1,7	74,1	1,9

Выводы

С использованием метода математического моделирования процесса фильтрации жидкости в анизотропном угольном пласте при нагнетании через одиночную скважину и каскад доказана принципиальная возможность преодоления фильтрационной анизотропии взаимодействием встречных потоков жидкости при каскадном нагнетании и повышения на этой основе эффективности обработки.

Литература

1. ДНАОП 1.1.30-1.XX-04. Безопасное ведение горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям (1-я редакция). – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 268 с.
2. Булат А. Ф., Софийский К. К., Силин Д. П., Мучник Э. И., Барадулин Е. Г., Житленок Д. М., Жмыхов В. Н., Воробьев Е. А., Калфакчян А. П. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты. Днепропетровск, 2003. – 220с.
3. Павлыш В. Н. Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты. Монография, - Донецк: 2005. – 347 с.

Лазебная Л. А. Применение математического моделирования для решения задачи повышения эффективности управления состоянием угольного пласта. На основании результатов математического моделирования технологических схем гидравлического воздействия на угольный пласт обоснован способ повышения эффективности процесса как средства управления его состоянием для снижения проявлений основных опасных явлений при подземной угледобыче.

Ключевые слова: процесс, математическая модель, управление, алгоритм, эффективность.

Lazebnaya L. The mathematical modeling application for solution of the problem of coal stratum state control effectiveness increase. On the founding of mathematical modeling results of technological schemes of hydraulic action on coal stratum the way of coal stratum state control process effectiveness increase for reducing of dangerous events during underground mining is based.

Key words: process, mathematical model, control, algorithm, effectiveness.

Статья поступила в редакцию 17.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

Применение многопоточности при прогнозировании траектории движения в распределенном симуляторе тяжелой инженерной техники

Т. В. Завадская, А. А. Койбаш, С. В. Кривошеев
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
kryvosh@donntu.org

Аннотация

В статье рассматривается структура распределенного симулятора тяжелой инженерной техники и функции его модулей. Предложен метод повышения производительности модуля прогнозирования траектории движения путем применения многопоточности и приведены результаты исследования.

Введение

В настоящее время одним из ключевых моментов при выполнении действий, связанных с риском для деятельности, является использование инженерной техники в сложных условиях. Такая техника может использоваться в самых разных отраслях и позволяет обезопасить человеческий труд, повышая эффективность результатов в качестве и времени работы.

Однако для эксплуатации такой техники требуется персонал, обладающий определёнными навыками. В связи с этим возникает необходимость разработки программного обеспечения для различных компьютерных тренажерных систем (симуляторов), которые применяются при подготовке квалифицированных кадров.

Требования к симулятору тяжелой инженерной техники

Использование симулятора тяжелой инженерной техники (СТИТ) имеет следующие преимущества:

- детальное изучение рабочего процесса и работа над ошибками;
- моделирование экстремальных ситуаций, которые в реальности могут нести риски для здоровья персонала;
- визуальное представление моделируемой ситуации в режиме реального времени;
- возможность разбора ситуации в любой момент времени.

Вычисления, связанные с работой симулятора, являются достаточно ресурсоёмкими. И в этой связи возникает необходимость в применении различных системных подходов для снижения времени расчета необходимых параметров. Одним из направлений является архитектура СТИТ на основе распределённой системы, которая

снижает нагрузки на каждую часть симулятора и повышает скорость и точность вычислений.

Структура симулятора тяжелой инженерной техники

СТИТ состоит из 4 модулей, которые обеспечивают его полную функциональность (рис. 1):

- модуль расчета параметров движения (МРПД);
- модуль прогнозирования траектории движения (МПТД);
- модуль визуализации (МВ);
- сетевой модуль.



Рисунок 1 – Структурная схема СТИТ

Во время движения тяжелая инженерная техника может отклоняться от своего маршрута, как по намерению оператора, так и в результате различных случайных событий. МРПД служит для определения всего массива координат траекторий, которыми может следовать подвижный объект.

Другой важной подсистемой СТИТ является МПТД. Наличие этого модуля связано с тем, что оператор не всегда сможет определить, каким способом можно оптимально добраться до точки назначения.

Основная задача МПТД – вычислить кратчайший маршрут с обходом всех препятствий, что позволяет снизить влияние человеческого фактора и значительно ускорить передвижение за счет уменьшения длины маршрута, и, как следствие, снижение затрат топлива.

Для отображения объекта предназначен МВ. Он оптимальным способом обеспечивает визуализацию процесса движения и позволяет оператору наглядно контролировать виртуальную модель управляемого объекта.

Сетевой модуль предназначен как для обмена данными между модулями, так и для синхронизации работы всех частей СТИТ.

Еще одним преимуществом является согласование всех входных и выходных данных каждого служебного модуля.

Всё это в совокупности позволяет снизить нагрузку на служебные модули, связанную с дополнительными операциями на приём данных и приведение к нужному формату.

Такая структура СТИТ позволит ускорить вычисления при значительном снижении нагрузки на каждый модуль. МРПД по заданной карте и текущему местоположению вычисляет все координаты, куда подвижный объект может теоретически попасть.

Затем весь массив точек через сетевой модуль передаётся в МПТД, который заранее вычисляет кратчайший маршрут. Совокупность этих данных и траектории необходима для МВ.

В данной работе детально рассмотрен МПТД и вопросы повышения производительности в качестве узла СТИТ.

Структура МПТД

Для реализации поставленных задач модуль должен обладать следующими структурными блоками (рис. 2):

- блок приёма входных данных;
- блок вычисления траектории движения;
- блок передачи выходных данных;
- программное средство управления.



Рисунок 2 – Структурная схема МПТД

Несмотря на то, что данные передаются в готовом формате из сетевого модуля, необходимо инициализировать различные временные структуры и выделить достаточно памяти с учетом расширения. В этом и состоит основная цель блока приёма входных данных.

Блок вычисления траектории движения содержит все служебные функции, подпрограммы и библиотеки для поиска кратчайшего маршрута. Это основной функциональный узел МПТД. В результате вычислений данного блока должны быть получены последовательности координатных пар – просчитанные маршруты.

В блоке передачи выходных данных полученные значения передаются в сетевой модуль для дальнейшего использования.

Программное средство управления координирует работу всех блоков МПТД, а также служит для синхронизации всех функциональных узлов.

Взаимодействие блоков осуществляется следующим образом. Блок приёма входных данных является важным звеном в работе с сетевым модулем. Во время его работы МПТД получает необходимые данные из сетевого модуля. Приём осуществляется специальным программным комплексом, данные же приходят в виде массива пар координат, куда объект потенциально может переместиться. Такие данные упаковываются в специальные контейнеры и представляются в виде соответствующих структур, удобных для дальнейшей обработки.

Затем программное средство управления вызывает процедуры и функции блока вычисления траектории движения. В результате будут получены данные: либо последовательность координатных пар – рассчитанный кратчайший маршрут, либо сигнал о невозможности нахождения пути. После этого будет вызван блок передачи выходных данных, который экспортирует данных. В результате его работы информация (кратчайшие маршруты) передаётся из МПТД в сетевой модуль, и происходит очистка временных структур, созданных в ходе работы первого блока.

Разработка трёх служебных блоков (приёма, обработки и передачи данных) может производиться с полноценным использованием возможностей параллельных систем. Характер их взаимодействия не является взаимозависимым, и, как следствие, каждый блок подготавливает определённую информацию для работы следующего.

Поскольку в процессе работы симулятора МПТД производит вычисления непрерывно, возможно организовать одновременный приём, обработку и передачу данных, т. е. распределить на потоки. Тогда работа МПТД может

осуществляться принципу конвейера: во время приёма текущего набора данных ведётся обработка предыдущего. Схема такой организации работы изображена на рис. 3.

Такты конвейера

	1	2	3
Набор данных 1	Приём	Обработка	Передача
Набор данных 2		Приём	Обработка
Набор данных 3			Приём

Рисунок 3 – Конвейерная организация работы блоков МПТД

Таким образом, одновременное выполнение всех трёх структурных частей МПТД может значительно повысить производительность. В свою очередь, это приведёт к уменьшению минимального временного промежутка для синхронизации всех модулей СТИТ и повышению точности работы симулятора.

Блоки приёма и передачи данных не требуют особых оптимизаций, в отличие блока вычисления траектории движения. Функционально этот блок является достаточно ресурсоёмким, что может нивелировать скорость работы остальных блоков. Для увеличения производительности необходим анализ алгоритмов поиска пути, а также их оптимизация с использованием параллелизма.

Применение алгоритма Дейкстры

Поскольку моделируемым объектом является тяжелая инженерная техника, решение задачи поиска пути может быть достигнуто использованием алгоритма Дейкстры, поскольку значения рёбер неотрицательны [1]. Это связано с тем, что в перемещении такой техники отсутствуют убыточные движения. При этом рационально использовать модификацию этого алгоритма – алгоритм А*. Этот алгоритм эффективно использует эвристику и находит путь гораздо быстрее по сравнению с алгоритмом Дейкстры.

Эти алгоритмы предназначены для поиска кратчайшего маршрута на графах, однако поле перемещения также может быть представлено в виде графа. В таком случае клетки карты будут вершинами. При этом веса рёбер для горизонтальных переходов могут составлять 10 условных единиц, веса диагональных – 14, как гипотенуза [2].

Алгоритм пошагово просматривает все вершины – от стартовой до конечной, пока не будет найден путь с минимальной стоимостью. Его работу можно представить в виде

последовательности следующих шагов:

Шаг 1. Создаются 2 списка для вершин: открытый и закрытый. В открытый список помещаются вершины, которые ожидают рассмотрения, в закрытый же помещаются уже рассмотренные. В начале работы алгоритма стартовая вершина заносится в закрытый список.

Шаг 2. Просчитываются три параметра:

– G – стоимость пути из точки старта в текущую вершину, которую просматривает алгоритм;

– H – эвристическое приближение, рассчитывается как прямой путь из текущей точки к финишу не учитывая препятствия. Именно этот параметр отвечает за «направленность» алгоритма;

– результирующий параметр F рассчитывается как сумма двух предыдущих:

$$F = G + H.$$

Шаг 3. Среди всех вершин открытого списка выбирается вершина с минимальным параметром F. Если она является конечной, то путь найден. Иначе эта вершина выбирается текущей, удаляется из открытого списка и добавляется в закрытый.

Шаг 4. Для всех соседних с текущей вершин выполняются действия:

– если соседняя вершина уже была ранее рассмотрена (закрытый список) или по ней невозможно пройти, алгоритм её пропускает;

– если соседней вершины нет в открытом списке, алгоритм добавляет её туда. При этом рассчитываются параметры F, G и H, а текущая вершина назначается родительской для соседней. Пример расчета параметров соседних вершин показан на рис. 4.;

74	60	54				
↙	↑	↗				
14	60	10	50	14	40	
60			40F			B
←	A	G	→	H		
10	50	10	30			
74	60	54				
↙	↓	↘				
14	60	10	50	14	40	

Рисунок 4 – Просчет параметров для соседних вершин [3]

– если соседняя вершина уже находится в открытом списке, то для неё снова рассчитывается стоимость G и сравнивается

с уже имеющейся. В случае, если новая стоимость G меньше, для этой клетки в открытом списке пересчитываются параметры F и G , и родителем назначается текущая клетка.

Шаг 5. Если открытый список пуст и целевая вершина не найдена, то маршрута не существует.

Таким образом, алгоритм A^* обладает высокой скоростью поиска оптимального маршрута благодаря своей «направленности». Однако на больших картах такие вычисления могут быть достаточно ресурсоёмкими, так как маршрут нужно обновлять каждый раз при перемещении объекта. В связи с этим возникает необходимость параллельной реализации поиска пути, чтобы модуль мог достаточно точно и своевременно пересчитывать оптимальный маршрут до финиша.

Каждый раз, когда алгоритм выбирает клетку из открытого списка, он вынужден последовательно просчитывать параметры для 8 соседних клеток. При этом инструкции для просчета являются одинаковыми, различаются только входные данные. Таким образом, один из вариантов распараллеливания алгоритма состоит в одновременном просчете параметров для всех соседей.

Для более подробного исследования параллельной оптимизации было разработано несколько вариантов многопоточной реализации:

- распределение программы на 2 потока. 1 поток обрабатывает 1-4 вершины, 2 поток обрабатывает 5-8 вершины;
- распределение на 4 потока, обрабатывающих по 2 соседа;
- распределение на 8 потоков, каждый из

которых обрабатывает по 1 вершине.

Во всех трёх случаях должна быть синхронизация доступа к памяти. Помимо этого, должна быть осуществлена синхронизация самих потоков в точке завершения просчета параметров всех соседних вершин. При выполнении потоком необходимых расчетов происходит ожидание завершения всех остальных, после чего алгоритм переходит к следующему этапу выполнения.

Исследование алгоритма Дейкстры

Поскольку каждый поток имеет доступ к открытому и закрытому списку, для синхронизации доступа к общим участкам памяти используются мьютексы. Алгоритм реализован на языке программирования C# [8], среда разработки – Microsoft Visual Studio. Среда разработки позволяет использовать профилировщик, определяющий конкуренцию потоков в программе [4].

Для проверки алгоритма необходимы процессоры, имеющие несколько ядер и поддерживающие возможность параллельной реализации. Тестирование было проведено на процессоре Intel Pentium CPU B970 @ 2.30GHz.

Для тестирования работы алгоритма была сгенерирована карта с множеством различных препятствий и несколькими возможными способами добраться до целевой точки. Результат теста показан на рис. 5. Такой подход показал снижение производительности: если при 2 потоках время вычисления стало заметно меньше, то при распределении вычислений соседних вершин на 8 потоков падение производительности является критическим [4].

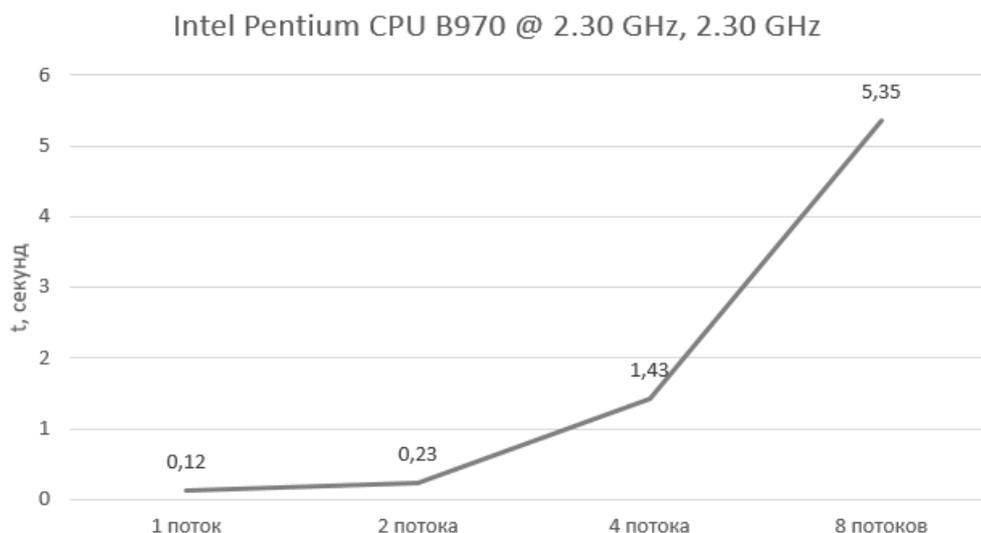


Рисунок 5 – Диаграмма времени выполнения многопоточных реализаций при просчете одного пути

Средство профилировщика Microsoft Visual Studio определило множество конкуренций. Диаграмма, показывающая

интенсивность конкуренций в секунду, отображена на рис. 6.

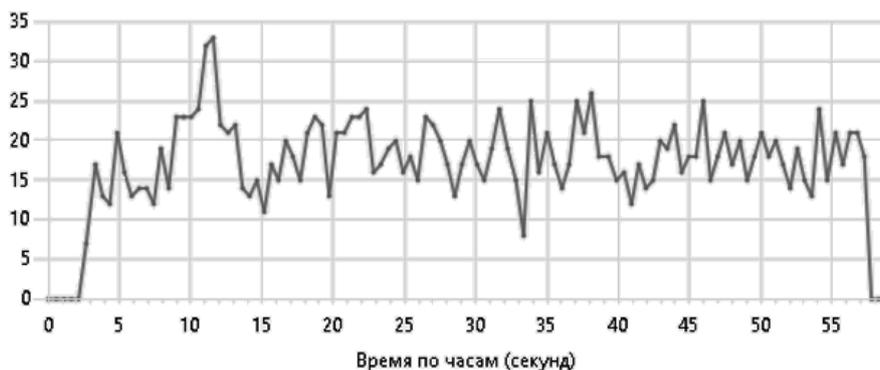


Рисунок 6 – Диаграмма конкуренции 8 потоков при просчете одного маршрута [4]

Из диаграммы конкуренции видно, что интенсивность конкуренций достаточно высока. Количество состязаний в секунду достигает 33.

Более детальный анализ показал, какие недостатки имеет данный способ распараллеливания:

- общий список вершин, доступ к которому синхронизируется при помощи мьютексов. Это увеличивает время обращения к общему участку памяти, что тормозит процесс.

- синхронизация потоков при завершении просчета параметров для вершины. Таким образом, каждый поток, просчитав параметр для своего соседа, должен ждать окончания работы остальных потоков.

Эти недостатки возникают циклически – каждый раз, когда алгоритм выбирает новую

вершину из открытого списка в качестве текущей. В связи с этим и происходит очень сильное увеличение времени поиска пути, что существенно снижает производительность модуля.

Альтернативным вариантом многопоточной реализации выступает одновременное вычисление сразу нескольких маршрутов. В таком случае точки старта и финиша задаются парами и каждый поток [9] считает свой путь.

Исследования многопоточной реализации проведены на процессорах Intel Pentium CPU G2020 @ 2.90GHz и Intel Pentium CPU B970 @ 2.30GHz [6]. Сравнительная характеристика этих процессоров приведена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика процессоров

	Intel Pentium CPU G2020	Intel Pentium CPU B970
Литография	22 nm	32 nm
Количество ядер	2	2
Количество потоков	2	2
Базовая тактовая частота процессора	2,90 GHz	2,30 GHz
Кэш-память	3 MB SmartCache	2 MB L3
Частота системной шины	5 GT/s DMI	5 GT/s DMI
Максимальный объем поддерживаемой памяти	32 GB	16 GB
Максимальное число каналов памяти	2	2
Максимальная пропускная способность памяти	21 GB/s	21.3 GB/s

Из табл. 1 видно, что процессор Intel G2020 более новый: более низкий технологический процесс (литография), более высокая частота процессора и больший объем кэша. При этом частота пропускной способности памяти у обоих процессоров примерно одинакова.

Как и в предыдущем случае, алгоритм также реализован с помощью языка программирования C#. Однако в отличие от предыдущего теста, здесь нет необходимости в использовании мьютексов [8], так как потоки имеют раздельные участки памяти. В данном варианте поиск пути считается законченным лишь тогда, когда все потоки завершат выполнение алгоритма A*.

Были разработаны варианты для 2, 4 и 8 маршрутов, каждый из которых просчитывается в отдельном потоке [3]. Тест показывает серьезное повышение производительности – за одинаковое время просчитываются 2 маршрута, и с небольшим увеличением времени просчета – одновременно 4 и 8 путей. Результаты показаны на рис. 7.

Такие высокие результаты связаны с отсутствием необходимости циклической синхронизации всех потоков [10], а также с отдельными участками памяти для каждого потока. Средствами профилировщика сформирована диаграмма, показанная на рис. 8.

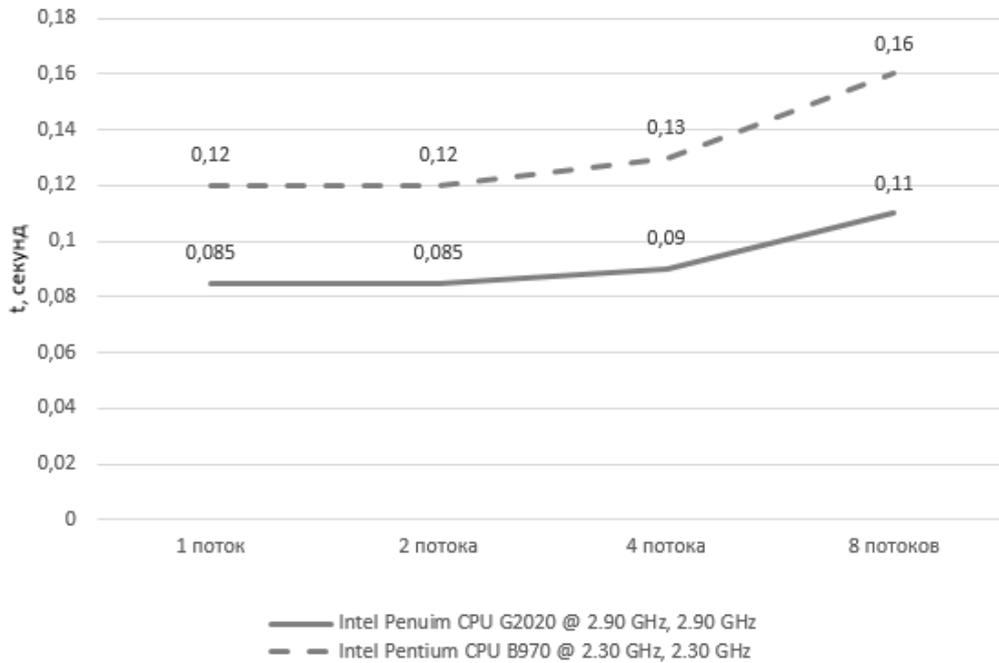


Рисунок 7 – Диаграмма времени выполнения многопоточных реализаций при просчете нескольких маршрутов [3]

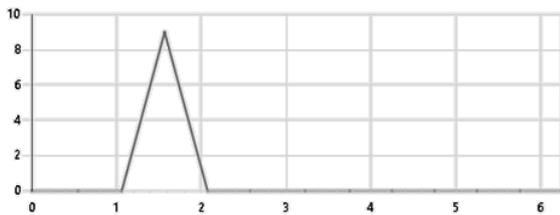


Рисунок 8 – Диаграмма конкуренции 2 потоков при просчете нескольких маршрутов [4]

Из диаграммы (рис. 8) видно, что конкуренции практически нет, только в главном потоке встречаются состязания за синхронизацию. Следовательно, вариант с одновременным поиском нескольких маршрутов является более предпочтительным.

Поскольку подвижным объектом является единица тяжелой инженерной техники, можно определить точки, где может объект может оказаться через определённый интервал времени и просчитывать маршруты из всех таких точек. Инженерная гусеничная техника может двигаться вперёд и назад, изменять скорость и направление движения. Повороты могут осуществляться на 45° и 90° [5]. Пример карты точек, куда может переместиться подвижный объект, показан на рис. 9.

На рисунке показаны возможные точки при условии, если объект неподвижен или только стартует. В процессе движения не нужно просчитывать точки, находящиеся в другой стороне от направления перемещения (например, позади при движении вперёд).

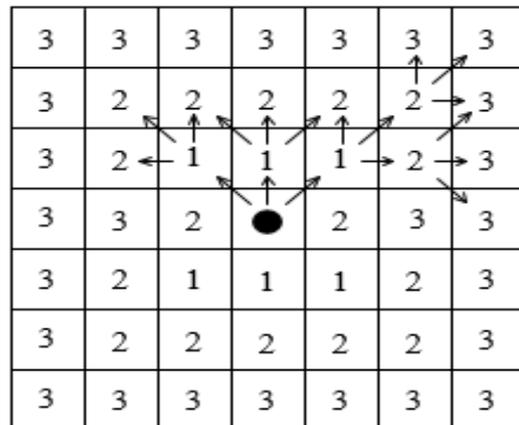


Рисунок 9 – Пример карты точек, в которые объект может переместиться через определённый интервал времени [7]

Вместо этого можно просчитать маршрут на большее количество точек вперёд, что компенсирует скорость передвижения.

Выводы

Таким образом, исследованы разные многопоточные реализации алгоритма А*. Лучший результат показал альтернативный вариант, при котором сразу несколько траекторий просчитываются в разные потоки. Поскольку определена карта точек, куда тяжелая инженерная техника может попасть через единицу времени, данный вариант оптимизации можно использовать для поиска нескольких маршрутов, чтобы одновременно просчитывать пути сразу из всех точек, куда теоретически может попасть объект.

Литература

1. Томас Х. Кормен. Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн; 3-е изд.; Пер. с англ. Красиков И. В. – М.: «Вильямс», 2013. – 1328 с.
2. Койбаш А. А., Кривошеев С. В. Прогнозирование траектории движения подвижного объекта распределенного симулятора тяжелой инженерной техники. В кн.: Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ–2016): материалы VII междунар. науч.-техн. конф., Донецк, 2016. / редкол. А. Ю. Харитонов и др. Донецк: ДонНТУ, 2016. С. 343-346.
3. Кривошеев С. В., Койбаш А. А. Пути снижения времени прогнозирования траектории движения подвижного объекта распределенного симулятора тяжелой инженерной техники. В кн.: Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., Азов 2017. / редкол. С. В. Жуков и др. Азов: Технологический институт (филиал) ДГТУ, 2017. С. 51-54.
4. Койбаш А. А., Кривошеев С. В. Подсистема прогнозирования траектории движения подвижного объекта распределенного симулятора тяжелой инженерной техники. В кн.: Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПШИВС–2016): сборник научных трудов I научно-практической конференции (студ. секция), Донецк, 2016. / Донецк: ДонНТУ, 2016. С. 262-265.
5. Анилович В. Я., Водолажченко Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / справочное пособие; изд. 2 переработанное и доп. – М.: «Машиностроение», 1976. – 456 с.
6. Technical Resources: Intel® Core™ Processors / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/products/docs/processors/core/core-technical-resources>.
7. Койбаш А. А., Завадская Т. В., Кривошеев С. В. Прогнозирование траектории движения подвижного объекта распределенного симулятора тяжелой инженерной техники. В кн.: Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ–2018): материалы IX междунар. науч.-техн. конф., Донецк, 2017. / редкол. Р. В. Мальчева и др. Донецк: ДонНТУ, 2018. – с. 187-191.
8. Джон Скит С# для профессионалов. Тонкости программирования. 3-е изд. – М.: «Вильямс», 2017. – 608 с.
9. Программирование многопоточности / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.realcoding.net/articles/glava-15-programmirovaniye-mnogopotchnosti.html>
10. Джозеф Албахари С# 3.0. Справочник. 3-е изд. – Спб.: «БХВ-Петербург», 2012. – 944 с.

Завадская Т. В., Койбаш А. А., Кривошеев С. В. Применение многопоточности при прогнозировании траектории движения в распределенном симуляторе тяжелой инженерной техники. Рассмотрены структура распределенного симулятора тяжелой инженерной техники и функции его модулей. Предложен метод повышения производительности модуля прогнозирования траектории движения путем применения многопоточности для алгоритма A. Приведены результаты исследования для различного количества потоков на нескольких типах современных микропроцессоров.*

Ключевые слова: симулятор, подвижный объект, многопоточность, распределенная система.

Zavadskaja T., Koybash A., Kryvosheyev S. A multithreading adaptation for motion trajectory prediction in the distributed powerful tracked heavy equipment simulator. The distributed powerful tracked heavy equipment simulator architecture is reviewed. The functions of simulator's parts are described. The performance improvement method for A algorithm in the motion trajectory prediction module is proposed. The method based on multithreading technology. The results of research for different thread numbers and some microprocessors are presented.*

Keywords: Simulator, motion object, multithreading, distributed system.

Статья поступила в редакцию 27.02.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 004.89

Реализация алгоритмов шифрования с помощью машины Тьюринга

Ю. Н. Добровольский, К. Н. Ефименко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
dyn_don_20.14@mail.ru, KN_Efimenko@mail.ru

Аннотация

Рассматривается реализация при помощи машины Тьюринга алгоритма шифрования методом одноалфавитной подстановки и алгоритма симметричного шифрования методом перестановки. Приведены примеры программ в виде команд для машины Тьюринга.

Введение

Идея создания машины Тьюринга, предложенная английским математиком А. Тьюрингом в 30-х годах XX века, связана с его попыткой дать точное математическое определение понятия алгоритма [1].

Машина Тьюринга является таким же математическим объектом, как функция, производная, интеграл, группа и т. д. Так же, как и другие математические понятия, понятие машины Тьюринга отражает объективную реальность, моделирует некие реальные процессы.

Этот математический аппарат был назван «машиной» по той причине, что по описанию его составляющих частей и функционированию он похож на вычислительную машину.

Принципиальное отличие машины Тьюринга от электронных вычислительных машин, использующих концепции фон Неймана состоит в том, что ее запоминающее устройство представляет собой бесконечную ленту (у фон-неймановских вычислительных машин, реализованных на принципах адресности и однородности памяти, запоминающее устройство может быть как угодно большим, но обязательно конечным). Машину Тьюринга нельзя реализовать именно из-за бесконечности ее ленты. Но именно в этом смысле она мощнее любой вычислительной машины [1-4].

Целью данной работы является реализация с помощью машины Тьюринга алгоритма симметричного шифрования методом перестановки и алгоритма шифрования методом одноалфавитной подстановки.

Описание машины Тьюринга

Структурно машина Тьюринга (МТ) состоит из двух базовых частей – **ленты и автомата** [1].

Лента, которая используется для хранения информации – бесконечна в обе стороны и разбита на клетки, которые не нумеруются и не именуются. В каждой клетке может быть записан только один символ или клетка может

быть пустой. Содержимое клетки может меняться путем записи в нее другого символа или удаления имеющегося там символа.

Пустое содержимое клетки будем называть **символом «пусто»** и обозначать знаком λ . В связи с этим изображение ленты слева и справа одинаково (рис. 1).

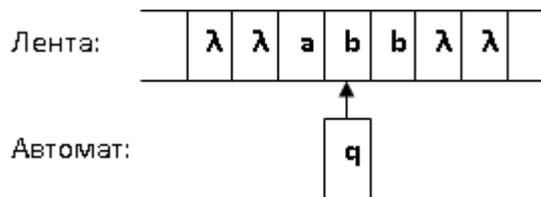


Рисунок 1 – Структура машины Тьюринга

Автомат является активной частью МТ. В каждый момент времени автомат расположен под одной из клеток ленты (видимая клетка) и видит её содержимое. Только находящийся в этой клетке символ (видимый символ) является доступным, остальные символы на ленте – недоступны. Также в каждый момент времени автомат находится в одном из состояний, которое принято обозначать литерой «q» с индексом (q_1, q_2, \dots). Находясь в некотором состоянии, автомат может выполнять только одно определённое действие.

Пару из видимого символа (a) и текущего состояния автомата (q) будем называть **конфигурацией** и обозначать $\langle a, q \rangle$.

Автомат может выполнять три элементарных действия:

- записывать в видимую клетку новый символ (менять содержимое других клеток автомат не может);
- сдвигаться на одну клетку влево или вправо («перепрыгивать сразу через несколько клеток автомат не может»;
- переходить в новое состояние.

Машина Тьюринга функционирует последовательно выполняемыми тактами. На каждом такте автомат может выполнять три следующих действия, в строго указанном порядке:

- записывать некоторый символ a' в

видимую клетку (в частности, может быть записан тот же символ, что и был в ней, тогда содержимое этой клетки не меняется);

– сдвигаться на одну клетку влево (обозначение – **L**), или на одну клетку вправо (обозначение – **R**), или остается неподвижным (обозначение – **N**);

– переходить в некоторое состояние q' (в частности, может остаться в прежнем состоянии).

Формально действия одного такта будем записывать в виде тройки:

$$a' [L R N] q'$$

где конструкция с квадратными скобками означает возможность записи в этом месте любой из букв **L**, **R** или **N**.

Например, такт $*Lq_8$ означает запись символа $*$ в видимую клетку, сдвиг на одну клетку влево и переход в состояние q_8 .

Для функционирования МТ необходимо составить программу, которая записывается в виде табл. 1.

Таблица 1 – Программа для МТ

	q_1	q_2	...	q_i	...	q_m
a_1						
a_2						
...						
a_i				$a' [L R N] q'$		
...						
a_n						
λ						

В первом столбце перечисляются все символы (в том числе и λ), которые автомат может видеть на ленте. В первой строке указываются все состояния, в которых может находиться автомат. На пересечении строк и столбцов указываются такты, которые должен выполнить автомат, когда он находится в соответствующем состоянии и видит на ленте соответствующий символ. Следовательно, таблица определяет действия МТ при всех возможных конфигурациях и тем самым полностью задаёт поведение МТ.

Таким образом, программирование для МТ заключается в формировании такой таблицы состояний.

Перед выполнением программы требуется выполнить следующие предварительные действия:

– записать на ленту входное слово, к которому будет применена программа, (внутри входного слова пустых клеток быть не должно, а слева и справа от него должны быть только пустые клетки). Пустое входное слово означает, что все клетки ленты пусты;

– установить автомат в состояние q_1 (указанное в таблице первым) и поместить его под первым символом входного слова (рис. 2).

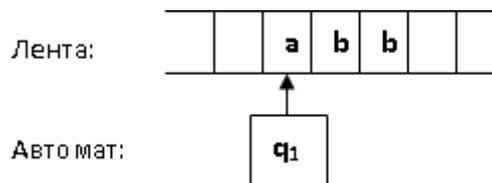


Рисунок 2 – Исходное состояние МТ

После таких предварительных действий начинается выполнение программы. В таблице отыскивается ячейка на пересечении первого столбца (т.к. автомат находится в состоянии q_1) и той строки, которая соответствует первому символу входного слова (это обязательно первая строка таблицы), и выполняется такт, указанный в этой ячейке. В результате автомат окажется в новой конфигурации. Теперь такие же действия повторяются, но уже для новой конфигурации: в таблице отыскивается ячейка, соответствующая состоянию и символу этой конфигурации, и выполняется такт из этой ячейки. И так далее.

Для завершения выполнения программы введено понятие «такта останова». Это такт, который ничего не меняет: автомат записывает в видимую клетку тот же символ, что и был в ней раньше, не сдвигается и остается в прежнем состоянии, т.е. это такт a, N, q для конфигурации $\langle a, q \rangle$. Попад на такт останова, МТ, по определению, останавливается, завершая свою работу.

В целом возможны два исхода работы МТ над входным словом:

– первый исход – «хороший»: это когда в какой-то момент МТ останавливается (попадает на такт останова). В таком случае говорят, что МТ применима к заданному входному слову. А то слово, которое получено на ленте, считается выходным словом, т.е. результатом работы МТ, ответом;

– второй исход – «плохой»: это когда МТ заклинивается, никогда не попадает на такт останова. В этом случае говорят, что МТ неприменима к заданному входному слову.

В качестве замечаний необходимо отметить следующие:

– если надо указать, что после выполнения некоторого такта МТ должна остановиться, то это состояние будем обозначать q_0 . Например, такт b, L, q_0 означает следующие действия: запись символа b в видимую клетку ленты, сдвиг влево и останов.

– если заранее известно, что в процессе выполнения программы не может появиться некоторая конфигурация, то в соответствующей ячейке таблицы будем ставить прочерк.

Таким образом, множество состояний

автомата: $Q = \{q_0, q_1, \dots, q_m\}$ – это внутренняя его память. Состояние q_1 называется начальным, а состояние q_0 называется заключительным (состояние останова).

Алгоритм шифрования методом одноалфавитной подстановки

Данный метод состоит в следующем [1-4]. Пусть имеется алфавит, состоящий, к примеру, из символов «АБВГДЕ» (при этом важна последовательность символов, и они не должны повторяться), и слово, состоящее из символов этого алфавита, например, «ГДЕ». Необходимо зашифровать слово по некоторому ключу, представляющему собой целое число (для удобства будем брать числа от 1 до 9). Допустим ключ – число 2. Тогда каждый символ в слове «ГДЕ» сдвигается на 2 позиции влево относительно соответствующего символа в алфавите и после шифрования представляет собой слово «ЕАБ» (если при смещении символы в алфавите закончились, то отсчет продолжается сначала алфавита).

В данном примере, для наглядности, используется небольшой алфавит и однозначный код, но принцип шифрования методом одноалфавитной подстановки полностью соблюден.

Реализация алгоритма шифрования методом одноалфавитной подстановки при помощи детерминированной МТ

Постановка задачи.

Имеется алфавит, состоящий из символов «ДАМИНЕРТ» (для удобства в качестве алфавита используются только значащие символы шифруемого слова, опять же на принцип работы программы это никак не влияет). Необходимо написать программу для МТ, позволяющую зашифровать слово «ДЕТЕРМИНАНТ» по ключу 1 или 2. В данном примере входящим словом для МТ будет являться «1ДЕТЕРМИНАНТ» или «2ДЕТЕРМИНАНТ» в зависимости от ключа шифрования. Кроме того, допустимыми будут являться любые слова, начинающиеся с 1 или 2 и состоящие из символов алфавита произвольной длины.

На выходе на ленте мы должны получить только зашифрованное слово (не трудно определить, что это слова «АМИНЕРТДТИ» и «МИНИЕРТДАДН» для ключей 1 и 2 соответственно).

Таким образом, последовательность «12ДАМИНЕРТ» будет являться множеством допустимых входящих символов.

Теперь определим состояния автомата:

– q_1 – автомат определяет, по какому ключу шифруется слово, и переходит в

состояние q_2 или q_3 ;

– q_2 – автомат шифрует слово по ключу 1;

– q_3 – автомат шифрует слово по ключу 2.

Представление программы в табличной форме показано в табл. 2 (если ячейка пуста, значит попадание автомата машины в неё невозможно).

Таблица 2 – Программа для МТ, реализующая алгоритм шифрования методом одноалфавитной подстановки

	q1	q2	q3
1	λq_2R		
2	λq_3R		
Д		Aq_2R	Mq_3R
А		Dq_2R	Aq_3R
М		Eq_2R	Pq_3R
И		Pq_2R	Tq_3R
Н		Tq_2R	Dq_3R
Е		Mq_2R	Iq_3R
Р		Hq_2R	Eq_3R
Т		Iq_2R	Hq_3R
λ		λq_0L	λq_0L

Для проверки работоспособности программы, реализующей предложенный алгоритм шифрования, воспользуемся имитационной детерминированной МТ (ИМТ). В качестве ИМТ возьмем программу-тренажер «Машина Тьюринга» [5], где введем следующую последовательность команд:

$1q_1 \rightarrow \lambda q_2R, 2q_1 \rightarrow \lambda q_3R,$

$Dq_2 \rightarrow Aq_2R, Aq_2 \rightarrow Dq_2R, Mq_2 \rightarrow Eq_2R,$
 $Iq_2 \rightarrow Pq_2R, Hq_2 \rightarrow Tq_2R, Eq_2 \rightarrow Mq_2R,$
 $Pq_2 \rightarrow Hq_2R, Tq_2 \rightarrow Iq_2R, \lambda q_2 \rightarrow \lambda q_0L,$

$Dq_3 \rightarrow Mq_3R, Aq_3 \rightarrow Aq_3R, Mq_3 \rightarrow Pq_3R,$
 $Iq_3 \rightarrow Tq_3R, Hq_3 \rightarrow Dq_3R, Eq_3 \rightarrow Iq_3R,$
 $Pq_3 \rightarrow Eq_3R, Tq_3 \rightarrow Hq_3R, \lambda q_3 \rightarrow \lambda q_0L.$

После выполнения программы на ленте будут получены слова «АМИНЕРТДТИ» или «МИНИЕРТДАДН» соответственно для ключей 1 или 2.

Для реализации более сложных алгоритмов шифрования данного типа, необходимо лишь добавить новые символы в алфавит и новые состояния автомата для различных ключей. При этом для того, чтобы использовать двузначные или трехзначные ключи, их можно записывать в системах исчисления, которые позволяют поместить ключ в одну клетку на ленте.

Алгоритм симметричного шифрования методом перестановки

Данный алгоритм заключается в следующем [1-4]. Пусть имеется слово, которое необходимо зашифровать по некоторому ключу. Ключ представляет собой последовательность чисел, первое из которых показывает, какой из символов в исходном слове является первым в зашифрованном, второй показывает, какой из символов в исходном слове является вторым в зашифрованном и т. д. Из этого следует, что длина ключа равна количеству символов в слове.

Например, имеется слово «Привет», которое необходимо зашифровать по ключу «356142». В результате зашифрованное слово примет вид «иетПвр».

Реализация алгоритма симметричного шифрования методом перестановки при помощи детерминированной МТ

Постановка задачи.

Имеется слово «ТЕОРИЯ» его необходимо зашифровать по ключу «352614». Работа МТ выглядит при этом следующим образом. Входным словом является ключ, при этом не обязательно «352614», машина должна работать при любом сочетании этих чисел. По завершении работы на ленте должно остаться только зашифрованное слово (в данном случае слово «ОИЕЯТР»).

При этом следует учитывать, что на пути у автомата могут встречаться уже напечатанные символы, которые следует пропускать.

Рассмотрим состояния автомата:

– q1 – автомат определяет, какой символ необходимо напечатать, либо прекращает свою работу, если все символы напечатаны (не осталось символов, составляющих ключ);

– q2-q7 – автомат печатает соответствующий символ;

– q8 – автомат возвращается в начало слова.

В табличной форме программа представлена в табл. 3.

Таблица 3 – Программа для МТ, реализующая алгоритм симметричного шифрования методом перестановки

	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8
3	λq4R	3q2R	3q3R	3q4R	3q5R	3q6R	3q7R	3q8L
5	λq6R	5q2R	5q3R	5q4R	5q5R	5q6R	5q7R	5q8L
2	λq3R	2q2R	2q3R	2q4R	2q5R	2q6R	2q7R	2q8L
6	λq7R	6q2R	6q3R	6q4R	6q5R	6q6R	6q7R	6q8L
1	λq2R	1q2R	1q3R	1q4R	1q5R	1q6R	1q7R	1q8L
4	λq5R	4q2R	4q3R	4q4R	4q5R	4q6R	4q7R	4q8L
T	Tq0N	Tq2R	Tq3R	Tq4R	Tq5R	Tq6R	Tq7R	Tq8L
E	Eq0N	Eq2R	Eq3R	Eq4R	Eq5R	Eq6R	Eq7R	Eq8L

Продолжение таблицы 3

O	Oq0N	Oq2R	Oq3R	Oq4R	Oq5R	Oq6R	Oq7R	Oq8L
P	Pq0N	Pq2R	Pq3R	Pq4R	Pq5R	Pq6R	Pq7R	Pq8L
И	Иq0N	Иq2R	Иq3R	Иq4R	Иq5R	Иq6R	Иq7R	Иq8L
Я	Яq0N	Яq2R	Яq3R	Яq4R	Яq5R	Яq6R	Яq7R	Яq8L
λ		Tq8L	Eq8L	Oq8L	Pq8L	Иq8L	Яq8L	λq1R

Программа в виде команд для тренажёра «Машина Тьюринга» будет выглядеть следующим образом:

3q1 → λq4R, 5q1 → λq6R, 2q1 → λq3R,
6q1 → λq7R, 1q1 → λq2R, 4q1 → λq5R,
Tq1 → Tq0N, Eq1 → Eq0N, Oq1 → Oq0N,
Pq1 → Pq0N, Иq1 → Иq0N, Яq1 → Яq0N, *

3q2 → 3q2R, 5q2 → 5q2R, 2q2 → 2q2R,
6q2 → 6q2R, 1q2 → 1q2R, 4q2 → 4q2R,
Tq2 → Tq2R, Eq2 → Eq2R, Oq2 → Oq2R,
Pq2 → Pq2R, Иq2 → Иq2R, Яq2 → Яq2R,
λq2 → Tq8L, *

3q3 → 3q3R, 5q3 → 5q3R, 2q3 → 2q3R,
6q3 → 6q3R, 1q3 → 1q3R, 4q3 → 4q3R,
Tq3 → Tq3R, Eq3 → Eq3R, Oq3 → Oq3R,
Pq3 → Pq3R, Иq3 → Иq3R, Яq3 → Яq3R,
λq3 → Eq8L, *

3q4 → 3q4R, 5q4 → 5q4R, 2q4 → 2q4R,
6q4 → 6q4R, 1q4 → 1q4R, 4q4 → 4q4R,
Tq4 → Tq4R, Eq4 → Eq4R, Oq4 → Oq4R,
Pq4 → Pq4R, Иq4 → Иq4R, Яq4 → Яq4R,
λq4 → Oq8L, *

3q5 → 3q5R, 5q5 → 5q5R, 2q5 → 2q5R,
6q5 → 6q5R, 1q5 → 1q5R, 4q5 → 4q5R,
Tq5 → Tq5R, Eq5 → Eq5R, Oq5 → Oq5R,
Pq5 → Pq5R, Иq5 → Иq5R, Яq5 → Яq5R,
λq5 → Pq8L, *

3q6 → 3q6R, 5q6 → 5q6R, 2q6 → 2q6R,
6q6 → 6q6R, 1q6 → 1q6R, 4q6 → 4q6R,
Tq6 → Tq6R, Eq6 → Eq6R, Oq6 → Oq6R,
Pq6 → Pq6R, Иq6 → Иq6R, Яq6 → Яq6R,
λq6 → Иq8L, *

3q7 → 3q7R, 5q7 → 5q7R, 2q7 → 2q7R,
6q7 → 6q7R, 1q7 → 1q7R, 4q7 → 4q7R,
Tq7 → Tq7R, Eq7 → Eq7R, Oq7 → Oq7R,
Pq7 → Pq7R, Иq7 → Иq7R, Яq7 → Яq7R,
λq7 → Яq8L, *

3q8 → 3q8L, 5q8 → 5q8L, 2q8 → 2q8L,
6q8 → 6q8L, 1q8 → 1q8L, 4q8 → 4q8L,
Tq8 → 3q8L, Eq8 → Eq8L, Oq8 → Oq8L,
Pq8 → Pq8L, Иq8 → Иq8L, Яq8 → Яq8R,
λq8 → λq1R

При использовании различных ключей, состоящих из символов «123456», будут выдаваться различные зашифрованные слова. Следует отметить, что для реализации шифрования более длинных слов, нужно лишь ввести новые состояния автомата для недостающих символов. А если длина шифруемого слова больше десяти, то ключ следует записывать в системе исчисления, которая позволяет записать каждый номер символа в одной клетке.

Выводы

Машина Тьюринга – одно из самых важных открытий XX века. Идеи А. Тьюринга заключались в следующем:

- придумать устройство, абстрактную машину, которая может делать все, что вообще могут делать машины;
- использовать одну и ту же микросхему процессора в разных устройствах, например, в телевизоре или в стиральной машине;
- использование одной и той же программы в самых разных компьютерах (идея хранимой программы);
- успешный поиск ключа для расшифровки кода немецких шифровальных машин «Энигма» и многое другое.

Из выше изложенного, справедливо можно сказать, что А. Тьюринг – отец информатики и основоположник теории искусственного интеллекта и теории сложности вычислений, в которой проблеме перебора

до сих пор не решена.

Машина Тьюринга позволяет в полной мере реализовать простейшие алгоритмы шифрования, однако следует учитывать, что при использовании большого количества входящих символов, требуется вводить дополнительные состояния автомата, что в свою очередь приводит к увеличению размеров программы.

Наиболее удобными задачами, решаемыми при помощи МТ, являются задачи обработки символьных последовательностей, к которым можно отнести и описанные выше алгоритмы шифрования.

Литература

1. Пильщиков, В. Н. Машина Тьюринга и алгоритмы Маркова. Решение задач: учебно-методическое пособие / В. Н. Пильщиков, В. Г. Абрамов, А. А. Вылиток. – Москва: МГУ, 2006. – 47 с.
2. Алферова, З. В. Теория алгоритмов / З. В. Алферова. – М.: Статистика, 1973. – 164 с.
3. Марков, А. А. Теория алгоритмов / А. А. Марков, Н. М. Нагорный. – Москва: ФАЗИСТ, 1996. – 448 с.
4. Мальцев, А. И. Алгоритмы и рекурсивные функции / А. И. Мальцев. – Москва: Наука, 1960. – 392 с.
5. Преподавание, наука и жизнь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://kpolyakov.spb.ru>. – Заглавие с экрана.

Добровольский Ю. Н., Ефименко К. Н. Реализация алгоритмов шифрования с помощью машины Тьюринга. Представлено краткое описание структуры машины Тьюринга и правила ее программирования. Рассматривается реализация при помощи машины Тьюринга алгоритма шифрования методом одноалфавитной подстановки и алгоритма симметричного шифрования методом перестановки. Приведены примеры программ для машины Тьюринга в табличном виде и виде команд для имитационного тренажера.

Ключевые слова: машина Тьюринга, алгоритм шифрования, метод одноалфавитной подстановки, метод перестановки, программа.

Dobrovolsky Yu., Efimenko K. Implementing encryption algorithms with the Turing Machine. A brief description of the structure of the Turing machine and the rules of its programming are presented. The implementation with the help of the Turing machine of the encryption algorithm by the method of single-alphabetic substitution and the symmetric encryption algorithm by the method of permutation is considered. Examples of programs for the Turing machine are given in tabular form and in the form of commands for a simulation simulator.

Keywords: Turing machine, encryption algorithm, single alphabetic substitution method, permutation method, program.

Статья поступила в редакцию 09.03.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Синтез и исследование методами математического моделирования систем управления проветриванием выемочных участков угольных шахт

О. Ю. Чередникова, Ю. С. Достлев
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
olga.donntu@gmail.com

Аннотация

На основе законов движения потоков воздуха и метана в шахтной вентиляционной сети разработано математическое описание выемочных участков как объектов управления концентрацией метана в исходящей струе участка. Показано, что все множество выемочных участков как объектов управления обладают либо минимально-, либо неминимально-фазовыми свойствами. Предложена двухконтурная схема управления концентрацией метана в исходящей струе участков неминимально-фазового типа, в которой всплеск концентрации метана относительно исходного уровня при регулировании режимов проветривания компенсируется до желаемого значения специальным корректирующим звеном по отклонению концентрации метана от желаемого уровня. Методами математического моделирования показано, что в предложенной двухконтурной системе регулирования проветриванием участков неминимально-фазового типа обеспечивается устойчивое и качественное управление при отработке разнообразных режимов изменения концентрации метана.

Введение

Системы управления проветриванием выемочных участков играют важную роль в создании безопасных и комфортных условий работы горняков. В силу этого проблеме совершенствования систем управления проветриванием выемочных участков посвящено большое количество работ [1-5]. В результате выполненных работ и шахтных экспериментов установлены основные закономерности газодинамики участков, разработаны эффективные регуляторы расхода воздуха (РРВ), созданы и внедрены системы контроля и диспетчерского управления расходом воздуха на участках шахтной вентиляционной сети.

Однако до настоящего времени не существует теоретических предложений и практических результатов по эффективному управлению проветриванием выемочных участков, в которых при изменении расхода воздуха в начальный момент времени происходит всплеск концентрации метана, знак которого совпадает с направлением изменения расхода воздуха. Поэтому разработка эффективных по газовому фактору систем управления проветриванием участков этого типа до настоящего времени представляет важную научную задачу.

В рассматриваемой работе предложен закон управления проветриванием участков этого типа, обеспечивающий устойчивое и качественное управление концентрацией метана в исходящей струе участка. Адекватность

предложенного подхода обоснована аналитическими исследованиями и методами математического моделирования.

Математическое описание и исследование переходных процессов по дебиту газа из выработанного пространства при регулировании расхода воздуха на участке

В активно проветриваемой зоне выработанного пространства, согласно шахтным наблюдениям [6, 7], дебит утечек через выработанное пространство определяется соотношением:

$$[R_{вп} \cdot Q_{ут}^n] / [R_{вп} \cdot Q_{0ут}^n] = [R_{уч} \cdot Q^2] / [R_{уч} \cdot Q_0^2] \quad (1)$$

где Q , Q_0 – соответственно расход воздуха в текущий момент и в исходном (начальном) состоянии;

$R_{вп}$, $R_{уч}$ – соответственно эквивалентные аэродинамические сопротивления выработанного пространства и участка;

$Q_{ут}$, $Q_{0ут}$ – соответственно дебит утечек воздуха через выработанное пространство в текущий момент времени и в исходном (начальном) состоянии;

n – показатель турбулентности воздушного потока в активно проветриваемой зоне выработанного пространства.

При регулировании расхода воздуха на участке, согласно (1), дебит утечек подчиняется закону:

$$Q_{yT} = Q_{oyT} \cdot (Q / Q_o)^N, \quad (2)$$

где $N = 2 / n$ – показатель турбулентности воздушного потока через выработанное пространство.

Дебит метана из выработанного пространства в исходящую вентиляционную струю воздуха участка определяется соотношением [1]:

$$Q_{MB} = C_B \cdot Q_{yT}, \quad (3)$$

где Q_{MB} – дебит метана из выработанного пространства в текущий момент времени;

C_B – концентрация метана в потоке утечек воздуха через выработанное пространство.

В произвольный момент времени скорость изменения объема метана в выработанном пространстве определяется дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{d}{dt}(V_B \cdot C_B) = Q_{MB} - Q_{OMB}, \quad (4)$$

где V_B – объем пронизываемой зоны выработанного пространства;

C_B – среднее значение концентрации метана в объеме выработанного пространства;

Q_{OMB} – дебит метана из выработанного пространства в установившемся режиме;

$V_B \cdot C_B$ – объем метана в выработанном пространстве;

Q_{MB} – дебит метана из выработанного пространства.

Следовательно, согласно (3) и (4), изменение дебита метана из выработанного пространства определяется зависимостью [8]:

$$V_B \frac{Q'_{MB} \cdot Q_{yT} - Q'_{yT} \cdot Q_{MB}}{Q_{yT}^2} = Q_{OM} \cdot q_B, \quad (5)$$

где $\frac{Q'_{MB} \cdot Q_{yT} - Q'_{yT} \cdot Q_{MB}}{Q_{yT}^2} = \frac{dC_B}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q_{MB}}{Q_{yT}} \right)$ –

скорость изменения концентрации метана в выработанном пространстве при изменении режима проветривания участка;

$Q'_{MB} = dQ_{MB}/dt$, $Q'_{yT} = dQ_{yT}/dt$ – соответственно скорость изменения дебита метана из выработанного пространства и утечек воздуха через выработанное пространство;

$q_B = (Q_{MB} - Q_{OMB}) / Q_{OMB}$ – относительное изменение дебита метана из выработанного пространства.

Откуда получаем соотношение:

$$\frac{V_B}{Q_{yT}} Q'_{MB} - Q_{OMB} \cdot q_B = \frac{V_B}{Q_{yT}} \cdot \frac{Q_{MB}}{Q_{yT}} \cdot Q'_{yT}.$$

После очевидных преобразований получим:

$$\frac{V_B}{Q_{yT}} \cdot \frac{dq_B}{dt} + q_B = \frac{V_B}{Q_{yT}} \cdot \frac{(1+q_B)}{Q_{yT}} \cdot \frac{dQ_{yT}}{dt}.$$

В силу этого в малом соотношении может быть представлено в виде [9]:

$$\frac{V_B}{Q_{oyT}} \cdot \frac{dq_B}{dt} + q_B = \frac{V_B}{Q_{oyT}} \cdot \frac{d(Q_{yT}/Q_{oyT})}{dt}.$$

Откуда, согласно (2), получим:

$$T_B \frac{dq_B}{dt} + q_B = T_B \frac{d}{dt} (1 + G)^N, \quad (6)$$

где $T_B = V_B / Q_{oyT}$ – время однократного обмена воздуха в выработанном пространстве;

$G = (Q - Q_o) / Q_o$ – относительное значение дебита воздуха на участке.

Выражение (6) равносильно соотношению [8]:

$$T_B \frac{dq_B}{dt} + q_B = T_B \cdot N \cdot (1 + G)^{N-1} \cdot \frac{dG}{dt}.$$

В малом дифференциальное уравнение имеет вид [9]:

$$T_B \frac{dq_B}{dt} + q_B = T_B^N \cdot \frac{dG}{dt}, \quad (7)$$

где $T_B^N = N \cdot T_B$.

Для анализа переходных процессов по дебиту метана из выработанного пространства при произвольном изменении дебита воздуха, в т. ч. при скачкообразном изменении режима проветривания участка, представим соотношение (7) в виде [10]:

$$T_B \frac{d}{dt} (q_B - N \cdot G) = -q_B.$$

Откуда получим:

$$\frac{dz}{dt} T_B + z = -N \cdot G,$$

где $z = q_B - N \cdot G$.

При нулевых начальных условиях и скачкообразном изменении расхода воздуха, согласно (7), получим [9]:

$$z(t) = -N \cdot G \cdot (1 - \exp(-t / T_B)),$$

$$q_B(t) = z(t) + N \cdot G$$

Таким образом, окончательно имеем:

$$q_B(t) = N \cdot G \cdot \exp(-t / T_B). \quad (8)$$

Следовательно, в начальный момент времени при скачкообразном изменении расхода воздуха синхронно формируется скачок дебита метана $q_B = N \cdot G$, который спадает до нулевого

уровня по экспоненциальному закону с постоянной времени T_g .

Общий дебит метана и концентрация метана в исходящей струе участка при этом, согласно (5) и (6), определяются соотношениями [1]:

$$Q_{\text{му}}(t) = Q_{\text{мв}}(t) + Q_{\text{мл}}, \quad (9)$$

$$C(t) = Q_{\text{му}} / Q,$$

где $Q = Q_o + Q_o \cdot G$;

$Q_{\text{му}}$ – общий дебит метана в исходящей струе участка;

$Q_{\text{мл}}$ – дебит метана из груди забоя в лаве;

$$Q_{\text{мв}}(t) = Q_{\text{омв}} + Q_{\text{омв}} \cdot q_v.$$

Исследование переходных процессов в исходящей струе выемочных участков было выполнено с помощью модели (7, 9) газодинамики участка (рис. 1).

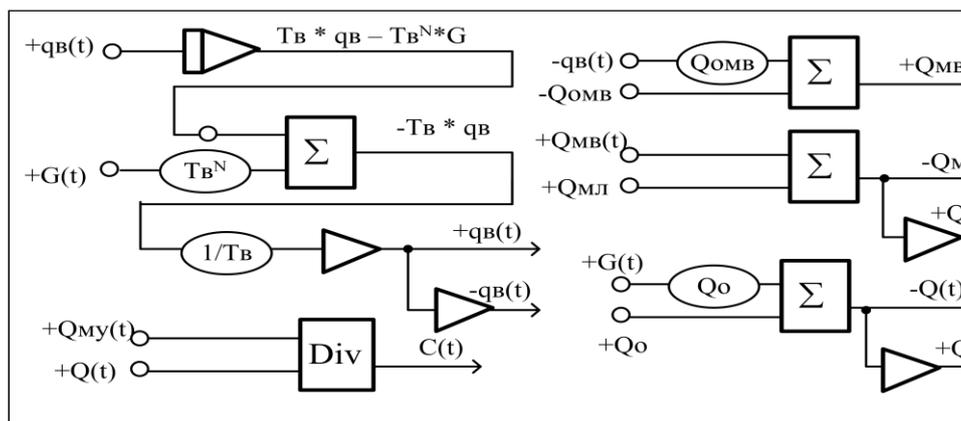


Рисунок 1 – Схема моделирования переходных процессов в исходящей струе выемочных участков

При моделировании были заданы следующие входные данные:

$$Q_o = 10 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q = 20 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G = 1;$$

$$Q_{\text{омв}} = 0,08 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{мл}} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$T_g = 1200 \text{ с}.$$

Результаты модельных экспериментов – кривые разгона на участке при $N = 1,2$ и $N = 1,8$ показаны на рис. 2.

Математическое описание и исследование участков как объектов управления

Поскольку правилами безопасности (ПБ) регламентируется уровень концентрации метана в исходящей струе участка, передаточная функция участка как объекта управления характеризуется соотношением [9]

$$W(p) = \Delta C(p) / \Delta Q(p),$$

где $\Delta C(p)$, $\Delta Q(p)$ – соответственно изображения приращений текущих значений концентрации метана и расхода воздуха относительно номинальных значений C_o , Q_o ;

p – оператор Лапласа.

Текущие значения концентрации метана в общем случае определяются соотношением [1,6]:

$$C = Q_{\text{му}} / Q. \quad (10)$$

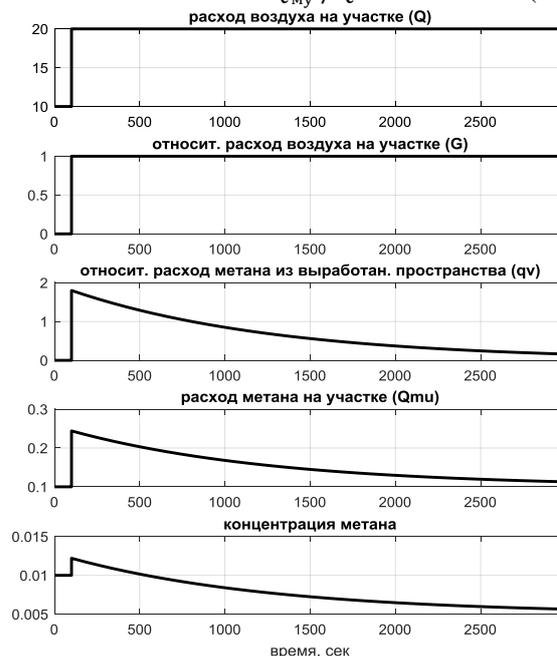


Рисунок 2 – Переходные процессы в исходящей струе участка при турбулентном характере движения утечек воздуха ($N = 1,2$)

Относительное значение концентрации метана представим в виде:

$$\bar{C} = C / C_o, \quad (11)$$

где $C_o = (Q_{\text{омв}} + Q_{\text{мл}}) / Q_o$ – номинальное значение концентрации метана в исходном (начальном) состоянии.

Тогда, согласно (10)-(11), получим:

$$\bar{C} = (Q_{\text{мв}} + Q_{\text{мл}}) \cdot Q_o / Q \cdot (Q_{\text{омв}} + Q_{\text{омл}}).$$

Соотношение, согласно (5) и (6), равносильно выражению:

$$\bar{C} = (1 + \Theta \cdot q_{\text{в}}) / (1 + G), \quad (12)$$
 где $\Theta = Q_{\text{омв}} / (Q_{\text{омв}} + Q_{\text{омл}})$ – относительное значение дебита метана из выработанного пространства в исходящей струе участка в стационарном состоянии.

Относительное значение приращения концентрации метана в исходящей струе участка определим соотношением:

$$S = (C - C_o) / C_o. \quad (13)$$

Откуда, согласно (12), получим:

$$S = (1 + \Theta \cdot q_{\text{в}}) / (1 + G) - 1. \quad (14)$$

Отбрасывая члены второго порядка малости, согласно (14), окончательно получим:

$$S = \Theta \cdot q_{\text{в}} - G. \quad (15)$$

В операционном виде дебит метана из выработанного пространства, согласно (7), описывается соотношением [9]:

$$q_{\text{в}}(p) = \frac{T_B^N p}{T_B p + 1} G.$$

В силу этого в исходящей струе участка в операционном представлении концентрация метана формируется, согласно (15), в соответствии с формулой

$$S(p) = \frac{\Theta \cdot T_B^N p}{T_B p + 1} G - G.$$

Откуда после очевидных преобразований окончательно получим

$$T_B \frac{dS}{dt} + S = T_B (\Theta \cdot N - 1) \frac{dG}{dt} - G. \quad (16)$$

Для анализа качественных и количественных характеристик переходных процессов по концентрации метана при произвольном изменении расхода воздуха, в том числе при скачкообразном изменении режима проветривания участка, представим (16) в виде [10]:

$$T_B \frac{dx}{dt} + x = -\Theta \cdot N \cdot G, \quad (17)$$

где $x = S - (\Theta \cdot N - 1) \cdot G$.

Следовательно, например, при скачкообразном изменении расхода воздуха решение уравнения (17) при нулевых начальных условиях имеет вид [8]:

$$x(t) = -\Theta \cdot N \cdot G \cdot (1 - \exp(-t / T_B)). \quad (18)$$

В силу этого, согласно (17)-(18), кривые разгона по концентрации метана в исходящей струе участка описываются формулой

$$S(t) = \Theta \cdot N \cdot G \cdot \exp(-t / T_B) - G. \quad (19)$$

Следовательно, в начальный момент времени (при $t = 0$), согласно (19), направление изменения концентрации метана в исходящей струе выемочного участка описывается системой неравенств:

$$\text{Sign } S(t = 0) = \begin{cases} \text{Sign } G, & \text{при } \Theta \cdot N > 1 \quad (20) \\ -\text{Sign } G, & \text{при } \Theta \cdot N < 1 \quad (21) \end{cases}$$

Таким образом, при $\Theta \cdot N > 1$ участок как объект управления обладает неминимально-, а при $\Theta \cdot N < 1$ минимально-фазовыми свойствами [9].

Синтез и исследование безопасных по газовому фактору систем управления проветриванием выемочных участков минимально-фазового типа

В установившемся режиме, согласно (16), расход воздуха и концентрация метана взаимосвязаны соотношением:

$$S^* = -G, \quad (22)$$

где S^* – желаемое значение концентрации метана.

В силу этого закон управления в системе управления проветриванием участка, согласно (22), определим зависимостью

$$G = S - 2 \cdot S^*. \quad (23)$$

Тогда при адекватной отработке в системе управления проветриванием участков желаемого уровня концентрации метана S^* расход воздуха установится в системе управления, согласно (22), на требуемом уровне:

$$G(t \rightarrow \infty) = S^* - 2S^* = -S^*.$$

Структурная схема управления проветриванием участков минимально-фазового типа представлена на рис. 3.

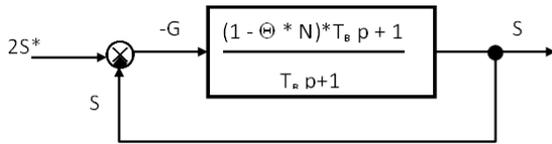


Рисунок 3 – Структурная схема управления проветриванием участков минимально-фазового типа: $(\Theta \cdot N) < 1$

В системе управления проветриванием участка минимально-фазового типа (рис. 3) переходной процесс, согласно (16) и (23), описывается соотношением:

$$(T_B^S p + 1) S = (T_B^M p + 1) (2S^* - S),$$

где $T_B^M = (1 - \Theta \cdot N) \cdot T_B$ при $(\Theta \cdot N) < 1$.

Откуда получим:

$$T_B^S \frac{dS}{dt} + S = T_B^M \frac{dS^*}{dt} + S^*, \quad (24)$$

где $T_B^S = (T_B + T_B^M) / 2$.

Для анализа переходных процессов в системе управления при произвольном способе изменения желаемого значения концентрации метана $S^*(t)$, в том числе при скачкообразном изменении желаемого значения $S^*(t)$, представим уравнение (24) в виде:

$$T_B^S \frac{d\alpha}{dt} + \alpha = (T_B^S - T_B^M) S^*, \quad (25)$$

где $\alpha = T_B^S \cdot S - T_B^M \cdot S^*$.

При скачкообразном изменении желаемого уровня концентрации метана решение уравнения (25) при нулевых начальных условиях определяется соотношением [8]:

$$\alpha(t) = (T_B^S - T_B^M) S^* (1 - \exp(-t / T_B)).$$

Следовательно, обработка желаемого

значения концентрации метана в системе управления (рис. 3) определяется выражениями:

$$S(t) = S^* - [(T_B^S - T_B^M) / T_B^S] \cdot \exp(-t / T_B^S) \cdot S^*,$$

$$G(t) = S(t) - 2S^*. \quad (26)$$

Таким образом, согласно (26), в системе управления (23) в исходящей струе участка гарантировано обеспечивается отработка в установившемся режиме желаемого режима проветривания:

$$S = S^*,$$

$$G = -S^*.$$

В начальный момент времени при скачке желаемого уровня концентрации метана S^* и, следовательно, согласно (23), расхода воздуха на участке G скачок концентрации метана S , согласно (25), определяется соотношением:

$$S(t=0) = (T_B^M / T_B^S) \cdot S^*.$$

Следовательно, при скачкообразном задании желаемого значения S^* в исходящей струе участка имеем

$$\text{Sign } S(t=0) = \text{Sign } S^* = \text{Sign } S^* (t \rightarrow \infty).$$

Таким образом, в системе управления (23) участками минимально-фазового типа переходной процесс происходит без нежелательных всплесков концентрации метана, что позволяет осуществлять безопасное по газовому фактору управление проветриванием участков.

Машинная модель системы управления проветривания участка минимально-фазового типа показана на рис. 4. Результаты машинных экспериментов показаны на рис. 5.

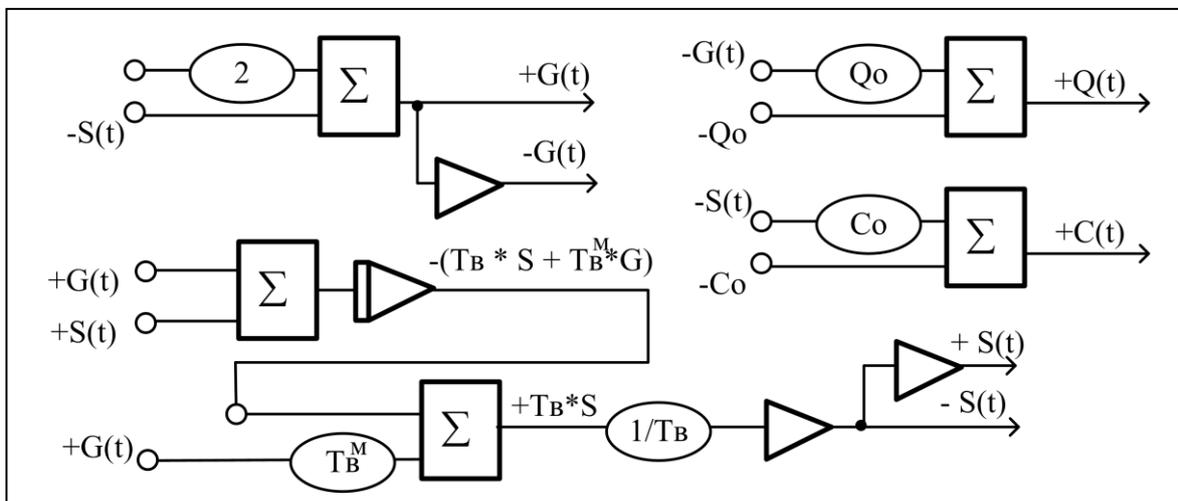


Рисунок 4 – Схема моделирования для исследования процессов управления проветриванием участка процессов минимально-фазового типа

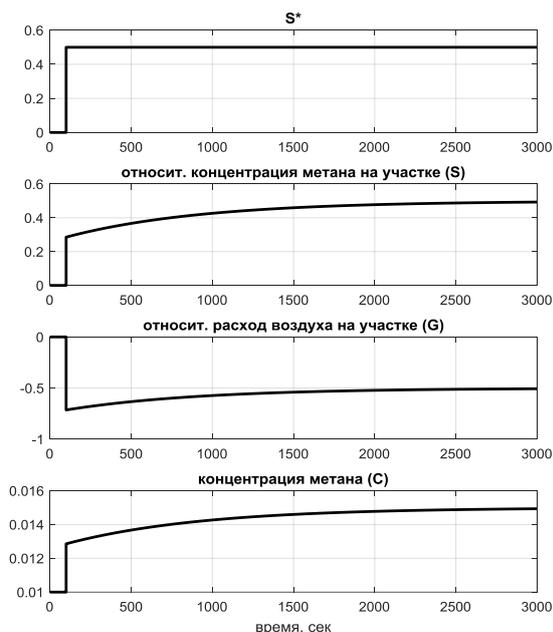


Рисунок 5 – Переходные процессы управления в системе регулирования проветриванием участка минимально-фазового типа

Моделирование было выполнено со следующими входными данными:

$$\begin{aligned} Q_o &= 10 \text{ м}^3/\text{с}; \\ C_o &= 0,01; \\ G &= -0,2; \\ Q_{омв} &= 0,05 \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_{мл} &= 0,05 \text{ м}^3/\text{с}; \\ N &= 1,2; \\ T_B &= 1200 \text{ с}; \\ \Theta &= 0,5; \\ T_B^M &= (1 - \Theta \cdot N) \cdot T_B = 480 \text{ с}; \\ T_B^S &= (T_B + T_B^M) / 2 = 840 \text{ с}. \end{aligned}$$

Синтез и исследование управления проветриванием выемочных участков неминимально-фазового типа

При использовании одноконтурной системы управления (рис. 4) в системе регулирования проветривания участка неминимально-фазового типа, согласно (16) и (23), переходные процессы описываются уравнениями:

$$G = S - 2S^*; \quad (27)$$

$$T_B \frac{dS}{dt} + S = T_B \frac{dG}{dt} - G, \quad (28)$$

где $T_{\theta}^H = (\Theta \cdot N - 1) \cdot T_{\theta}$.

В силу этого в замкнутой системе управления, согласно (27) и (28), переходные процессы описываются дифференциальным уравнением

$$T_B \frac{dS}{dt} + S = T_B^H \frac{dS}{dt} - 2T_B^H \frac{dS^*}{dt} - S + 2S^*.$$

Откуда получаем:

$$T_B \frac{dS}{dt} + S = S^* - T_B^H \frac{dS^*}{dt}, \quad (29)$$

где $T = (T_{\theta} - T_{\theta}^H) / 2$.

Для анализа переходных процессов при скачкообразном изменении желаемого уровня концентрации метана S^* представим (29) в виде:

$$T \frac{dx}{dt} + x = TS^* + T_B^H S^*, \quad (30)$$

где $x = T \cdot S + T_{\theta}^H \cdot S^*$.

В силу этого получим:

$$x(t) = T \cdot S^* + T_{\theta}^H \cdot S^* - T \cdot S^* \cdot \exp(-t/T) - T_{\theta}^H \cdot S^* \cdot \exp(-t/T).$$

Откуда, согласно (30), имеем:

$$S(t) = S^* - (1 + T_{\theta}^H/T) \cdot S^* \cdot \exp(-t/T). \quad (31)$$

Следовательно, переходной процесс в системе управления имеет двухполярный характер, поскольку:

$$\text{Sign}S(t = 0) \neq \text{Sign}S(t \rightarrow \infty) = \text{Sign}S^*.$$

При этом в начальный момент времени скачок концентрации метана, согласно (31), определяется соотношением:

$$S(t = 0) = -(T_{\theta}^H/T) \cdot S^*.$$

Следовательно, в начальный момент времени относительный всплеск концентрации метана составит:

$$\delta = T_{\theta}^H/T,$$

где $\delta = |S(t = 0) / S^*|$.

Откуда, согласно (16), получим:

$$\delta = 2(\theta \cdot N - 1)/(2 - \theta \cdot N). \quad (32)$$

Для участков неминимально-фазового типа параметр $(\Theta \cdot N)$, согласно (20) и (21), определяется промежутком $\Theta \cdot N = (1; 2)$. Поэтому относительная ошибка регулирования в начальный момент времени, согласно (32), может существенно превышать по модулю желаемый уровень концентрации метана S^* . В силу этого при одноконтурном управлении участком неминимально-фазового типа для исключения загазирования участков в общем случае требуется практически нереализуемый слишком большой запас по концентрации метана на участке.

Для снижения ошибки регулирования до приемлемых на практике значений ($\delta \leq 10$) %

используем двухконтурную систему управления проветриванием, показанную на рис. 6.

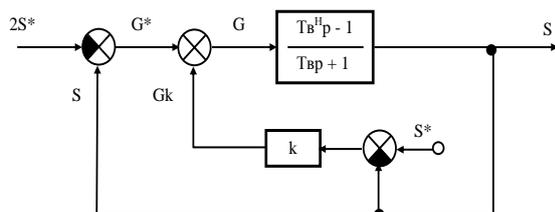


Рисунок 6 – Структурная схема двухконтурной системы управления участками неминимально-фазового типа

Переходные процессы в предложенной двухконтурной системе управления проветриванием участков неминимально-фазового типа описываются системой уравнений:

$$\begin{aligned} G^* &= S - 2S^*; \\ Gk &= k \cdot (S^* - S); \\ G &= G^* + Gk; \\ T_B \frac{dS}{dt} + S &= T_B^H \frac{dG}{dt} - G, \end{aligned} \quad (33)$$

где Gk – коррекция желаемого расхода воздуха G^* в системе управления.

В силу этого в замкнутой системе управления (рис. 7), согласно (33), переходные процессы описываются дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} T_B \frac{dS}{dt} + S &= -(1 - k) \cdot S + (2 - k) \cdot S^* + \\ &+ (1 - k) \cdot T_B^H \frac{dS^*}{dt} - (2 - k) T_B^H \frac{dS^*}{dt}. \end{aligned}$$

После очевидных преобразований получим:

$$T_k \frac{dS}{dt} + (2 - k)S = (2 - k)S^* - (2 - k)T_B^H \frac{dS^*}{dt}, \quad (34)$$

где $T_k = T_B - (1 - k) \cdot T_B^H$.

Устойчивость двухконтурной системы управления (рис. 4), согласно (34), обеспечивается при выполнении неравенства:

$$k < 2. \quad (35)$$

В устойчивой системе управления (33) переходные процессы описываются дифференциальным уравнением:

$$T_H \frac{dS}{dt} + S = S^* - T_B^H \frac{dS^*}{dt}, \quad (36)$$

где $T_H = T_k / (2 - k)$.

Для анализа переходных процессов при скачкообразном изменении желаемого значения концентрации метана представим (36) в виде:

$$T_H \frac{dy}{dt} + y = T_H S^* - T_B^H S^*, \quad (37)$$

где $y = T_H \cdot S + T_B^H \cdot S^*$.

Тогда при нулевых начальных условиях, согласно (37), получим [8]:

$$\begin{aligned} y(t) &= T_H \cdot S^* + T_B^H \cdot S^* - T_H \cdot S^* \exp(-t/T_H) - \\ &- T_B^H \cdot S^* \cdot \exp(-t/T_H) \end{aligned} \quad (38)$$

Поскольку, согласно (37),

$$T_H \cdot S + T_B^H \cdot S^* = y(t),$$

соотношению (38) соответствует равносильное уравнение:

$$\begin{aligned} T_H \cdot S^* + T_B^H \cdot S^* - T_H \cdot S^* \cdot \exp(-t/T_H) - \\ - T_B^H \cdot S^* \cdot \exp(-t/T_H) = T_H \cdot S + T_B^H \cdot S^*. \end{aligned}$$

Откуда окончательно получим:

$$S(t) = S^* - S \cdot (T_B^H + T_H) / T_H \cdot \exp(-t/T_H). \quad (39)$$

Таким образом, согласно (33) и (39), в системе управления (рис. 4) в исходящей струе участка гарантировано устанавливается в стационарном режиме желаемый режим проветривания

$$\begin{aligned} S &= S^*, \\ G &= -S^*. \end{aligned}$$

Однако в начальный момент времени при скачкообразном изменении желаемого уровня концентрации метана S^* и, следовательно, согласно (33), расхода воздуха на участке G , скачок концентрации метана в исходящей струе участка определяется соотношением:

$$S(t = 0) = -(T_B^H/T_H) \cdot S^*. \quad (40)$$

Следовательно, при скачкообразном изменении желаемого уровня концентрации метана в исходящей струе участка, согласно (40), получим

$$\text{Sign } S(t = 0) \neq \text{Sign } S(t \rightarrow \infty) = \text{Sign } S^*,$$

Таким образом, в системе управления (33) переходной процесс в общем случае имеет нежелательный двухполярный характер. При этом в начальный момент времени относительное значение скачка концентрации метана $S(t = 0)$, согласно (40), ограничено значением

$$\delta = |S(t = 0) / S^*| = T_B^H / T_H. \quad (41)$$

Для ограничения ошибки регулирования

на желаемом уровне коэффициент передачи корректирующего контура системы управления (рис.7), согласно (41), необходимо выбирать из условия:

$$T_B^H / T_H \leq \delta^*, \quad (42)$$

где δ^* – желаемое значение ошибки регулирования относительно уровня заданного значения концентрации метана S^* .

В силу этого, согласно (16), (34)-(37), для обеспечения устойчивого и качественного характера процессов управления, коэффициент

передачи корректирующего контура необходимо выбирать из условия

$$2 > k \geq \frac{2(\theta N - 1) - \delta(2 - \theta N)}{(1 + \delta^*)(\theta N - 1)}. \quad (43)$$

Машинная модель системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа при настройке корректирующего контура согласно (43) приведена на рис. 7, а результаты модельных экспериментов показаны на рис. 8.

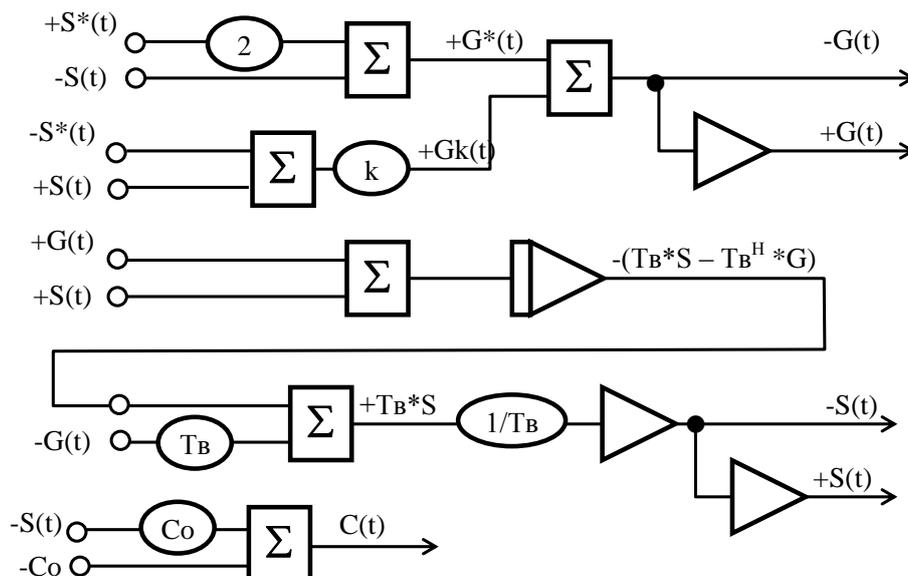


Рисунок 7 – Схема моделирования для исследования процессов управления проветриванием участка процессов неминимально-фазового типа

Исходные значения параметров модели:

$$\begin{aligned} Q_o &= 10 \text{ м}^3/\text{с}; \\ C_o &= 0,01; \\ k &= 1,65; \\ Q_{омв} &= 0,075 \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_{мл} &= 0,025 \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_{ому} &= 0,010 \text{ м}^3/\text{с}; \\ N &= 1,8; \\ T_\theta &= 1200 \text{ с}; \\ \theta &= 0,75; \\ T_e^H &= T_\theta(\theta N - 1) = 420 \text{ с}. \end{aligned}$$

Результаты машинных экспериментов практически адекватны аналитическим исследованиям переходных процессов в управляемых участках этого типа. Всплеск концентрации метана относительно исходного уровня при скачкообразном изменении желаемого уровня концентрации метана, рассматриваемый как ошибка регулирования, в системе не превышает допустимого на практике 10 % значения желаемого уровня концентрации метана (рис. 8).

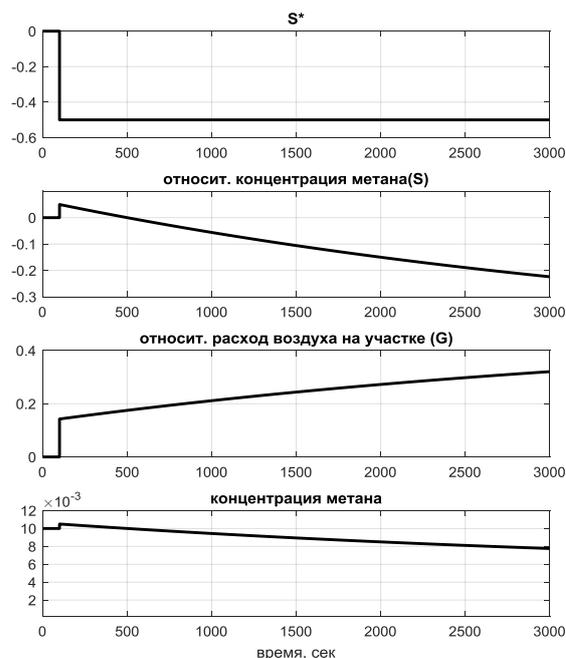


Рисунок 8 – Переходные процессы управления в системе регулирования проветриванием участка неминимально-фазового типа

Выводы

Основные результаты работы сводятся к следующему:

– на основе законов движения потоков воздуха и метана в вентиляционной сети выемочных участков разработано математическое описание участков как объектов управления концентрацией метана в исходящей струе участков;

– показано, что все множество выемочных участков как объекты управления обладают либо минимально-, либо неминимально-фазовыми свойствами;

– аналитическими исследованиями и методами математического моделирования установлено, что одноконтурные системы управления концентрацией метана обеспечивают устойчивое и качественное управление участками минимально-фазового типа;

– предложена двухконтурная схема управления концентрацией метана в исходящей струе участков неминимально-фазового типа, в которой всплеск концентрации метана относительно исходного уровня при регулировании режимов проветривания компенсируется до желаемого значения специальным корректирующим звеном по отклонению концентрации метана от желаемого уровня;

– аналитическими исследованиями установлена взаимосвязь параметров участков неминимально-фазового типа и параметров схем управления, при которой обеспечивается устойчивое управление и желаемая погрешность процессов регулирования;

– методами математического моделирования показано, что в предложенной двухконтурной системе управления проветриванием участков неминимально-фазового типа обеспечивается устойчивое и качественное управление при отработке разнообразных режимов изменения желаемого уровня концентрации метана;

– предложенные алгоритмы управления перспективны для применения в системах диспетчерского управления режимами проветривания выемочных участков угольных шахт;

– разработанный способ управления участками неминимально-фазового типа перспективен для управления неминимально-фазовыми объектами другой физической природы.

Литература

1. Абрамов Ф. А., Фельдман Л. П., Святный В. А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии – К.: Наук. думка, 1981. – 284 с.
2. Пучков Л. А., Бахвалов Л. А. Методы и алгоритмы автоматического управления проветриванием угольных шахт – М.: Недра, 1992. – 399 с.
3. Круглов Ю. В. Моделирование систем оптимального управления воздухо-распределением в вентиляционных сетях подземных рудников / Круглов Юрий Владиславович. Автореф. дис. канд. техн. наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, 2006.
4. Изучение аэрогазодинамики очистных забоев, подготовительных выработок и выработанных пространств в шахтах Донбасса, разрабатывающих пласты полого падения (отчет). МакНИИ. – шифр темы № 4 (1-63). – Макеевка, 1964. – 143 с.
5. Расширение функциональных возможностей комплекса аэрогазового информационного – КАГИ/ [Ю. А. Иванов и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сборник трудов. – Макеевка, 2003. – С. 56-60.
6. Касимов О. И. Физическая сущность и некоторые закономерности переходных газодинамических процессов на выемочных участках шахт Донбасса / О. И. Касимов, И. Н. Попов. – В кн.: Аэродинамические процессы на выемочных участках угольных шахт. – Киев: ИТТ АН УССР, 1965. – С. 3-8.
7. Чередникова О. Ю. Синтез замкнутой системы оптимального по быстродействию управления проветриванием с ограничением концентрации метана на допустимом уровне // Вести Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. – № 2 (33) - Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2013. – С. 90-97.
8. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов, т1: Учебное пособие для втузов. – 13-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 432 с.
9. Бесекерский В. А., Попов Е. П. «Теория систем автоматического регулирования». – М.: Техника, 1972. – 768 с.
10. Каган Б. М. Системы связи УВМ с объектами управления в АСУ ТП. М.: Советское радио, 1978. – 304 с.

Чередникова О. Ю., Достлев Ю. С. Синтез и исследование методами математического моделирования систем управления проветриванием выемочных участков угольных шахт. На основе законов движения потоков воздуха и метана в шахтной вентиляционной сети разработано математическое описание выемочных участков как объектов управления концентрацией метана в исходящей струе участка. Показано, что все множество выемочных участков как объектов управления обладают либо минимально-, либо неминимально-фазовыми свойствами. Аналитическими исследованиями и методами математического моделирования установлено, что одноконтурные системы управления концентрацией метана обеспечивают устойчивое и качественное по газу управление участками минимально-фазового типа. Предложена двухконтурная схема управления концентрацией метана в исходящей струе участков неминимально-фазового типа, в которой всплеск концентрации метана относительно исходного уровня при регулировании режимов проветривания компенсируется до желаемого значения специальным корректирующим звеном по отклонению концентрации метана от желаемого уровня. Аналитическими исследованиями установлена взаимосвязь параметров участков неминимально-фазового типа и параметров системы управления, при которой обеспечивается устойчивое управление и желаемая погрешность процессов регулирования. Методами математического моделирования показано, что в предложенной двухконтурной системе регулирования проветриванием участков неминимально-фазового типа обеспечивается устойчивое и качественное управление при отработке разнообразных режимов изменения концентрации метана.

Ключевые слова: концентрация метана, объект управления, минимально- и неминимально-фазовые объекты управления, алгоритм управления, математическое моделирование.

Cherednikova O., Dostlev Yu. Synthesis and research by methods of mathematical modeling for ventilation control systems of excavation sites of coal mines. On the basis of the laws of motion of air and methane flows in the mine ventilation network, a mathematical description of the excavation sites as objects of control of the methane concentration in the outgoing stream of the site is developed. It is shown that all the set of excavation sites as control objects have either minimal or non-minimal phase properties. Analytical studies and methods of mathematical modeling found that single-circuit control system of methane concentration provide a stable and high-quality gas control areas of the minimum phase type. The proposed double-loop control scheme for the methane concentration in the outgoing jet plots non-minimally-phase type, in which the increase in the concentration of methane relative to the initial level of regulation of modes of ventilation compensate to the desired value corrective a special link on the deviation of methane concentration from the desired level. Analytical studies have established the relationship between the parameters of non-minimal-phase areas and the parameters of the control system, which provides a stable control and the desired error of the control processes. Methods of mathematical simulation shows that the proposed double-circuit system of regulation of ventilation plots the non-minimally-phase type provided by sustainable quality management in developing various modes of changes in the concentration of methane.

Key words: methane concentration, the object of control, minimally and non-minimally-phase system, the control algorithm, mathematical modeling.

Статья поступила в редакцию 07.03.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,

05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. **Содержание статьи** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ ... », «сравнительная оценка ... », «разработка ... », «проектирование ... », «программная реализация», «тестирование ... », «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются **обязательными**. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210x297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объём аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, «... данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде «... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное

начертание. Иллюстрация и её подпись отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×». Формулы и математические уравнений могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить $x...$ ». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т.п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «–». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

- файл с текстом статьи;
- файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;
- экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;
- выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются на сайте <http://infcyb.donntu.org/>.

CONTENT

Computer science and engineering

The use of hardware support to 3D-visualization systems performance improves <i>Zori S., Anoprienko A., Malcheva R., Avksentieva O.</i>	5
Automated system for switching power supply to the backup power <i>Sivokobylenko V., Derkachev S.</i>	13
Automated access control system based on the analysis of human biometric parameters <i>Antipov R., Martynenko T.</i>	21
Mathematical design of origin of a transport congestion <i>Zenzerov V., Belkov D.</i>	27
The mathematical modeling and automatic projecting of apparatus, contains convective type devises <i>Perinskaya E.</i>	34
The mathematical modeling of termodynamical process in limited continuous environment <i>Tarabayeva I., Peretolchina G.</i>	40
Medical information and analytical system with voice control for analyzing the results of operations <i>Fedyaev O., Bakalenko V.</i>	44
The mathematical modeling application for solution of the problem of coal stratum state control effectiveness increase <i>Lazebnaya L.</i>	49
A multithreading adaptation for motion trajectory prediction in the distributed powerful tracked heavy equipment simulator <i>Zavadskaja T., Koybash A., Kryvosheyev S.</i>	53
Implementing encryption algorithms with the Turing Machine <i>Dobrovolsky Yu., Efimenko K.</i>	60
Synthesis and research by methods of mathematical modeling for ventilation control systems of excavation sites of coal mines <i>Cherednikova O., Dostlev Yu.</i>	65
<u>Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal "Informatics and Cybernetics"</u>	75

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 1 (15) - 2019

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка А. И. Воронова

Подписано к выпуску 18.03.2019. Усл. печ. лист. 9,2. Уч.-изд. лист. 5,5.
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: <http://infcyb.donntu.org>