

#1(65), 2021 часть 3
Восточно Европейский научный журнал
(Москва, Россия)
Журнал зарегистрирован и издается в России
В журнале публикуются статьи по всем
научным направлениям.
Журнал издается на русском, английском,
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - A4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Каждый автор получает одну бесплатную
печатную копию журнала

Бесплатный доступ к электронной версии
журнала.

Редакционная коллегия

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

#12(65), 2021 part 3
Eastern European Scientific Journal
(Moscow, Russia)
The journal is registered and published in Russia
The journal publishes articles on all scientific areas.
The journal is published in Russian, English,
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each
month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the
journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)**
Peter Clarkwood(University College London)
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 экземпляров.
Отпечатано в ООО «Логика+»
125040, г. Москва, Россия
проспект Ленинградский, дом 1,
помещение 8Н, КОМ. 1
«Восточно Европейский Научный Журнал»
Электронная почта: info@eesa-journal.com,
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)**
Peter Clarkwood(University College London)
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.
Printed by Logika + LLC
125040, Moscow, Russia
Leningradsky prospect, building 1,
8N, flat. 1
"East European Scientific Journal"
Email: info@eesa-journal.com,
<https://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

Янчецкий А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СУДОВ ПРИ СБЛИЖЕНИИ В РАЙОНЕ ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ	4
Федоров Д.Б. СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ КУРСА ОДНОГО СУДНА И СКОРОСТИ ДРУГОГО СУДНА	9
Біляєв М.М., Біляєва В.В., Берлов О.В., Козачина В.А. ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ПОЖЕЖІ НА АЗС	16
Боровик Юрій Михайлович ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ	22
Гущин К.В., Зяхор И.В., Самотрясов С.М., Завертанный М.С. ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2219-T87 ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ ОПЛАВЛЕНИЕМ	24
Жукова Т.И. ЦИФРОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ	29
Идиев С.Б., Егибеков П.Е. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОДВИЖНОСТЬ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА	34
Ларченко Б.Д., Шкиль А.С., Ларченко Л.В. АППАРАТНЫЙ ONLINE ВЫЧИСЛИТЕЛЬ СТЕПЕННЫХ ФУНКЦИЙ С БИТОВЫМ ПОТОКОМ ДАННЫХ	37
Lukiyanchuk A.A. PARAMETRIC MATHEMATICAL MODEL OF SEISMOACOUSTIC MONITORING	46
Шевченко О.Ю., Хаханов И.В., Хаханов В.И. ПОИСК И АНАЛИЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТРИКИ СХОДСТВА–РАЗЛИЧИЯ	51

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Yanchetsky A. V.

PhD student,

National University «Odessa Maritime Academy»

DETERMINATION OF GROUP OF INTERACTIVE VESSELS AT RAPPROCHEMENT IN DISTRICT OF INTENSIVE MOTION

Янцевский Александр Витальевич

аспирант кафедры Управление судном,

Национальный университет "Одесская морская академия"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СУДОВ ПРИ СБЛИЖЕНИИ В РАЙОНЕ ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Summary. Decomposition of possible great number of surrounding targets on eight groups on the sign of rapprochement with a ship and level of danger of rapprochement is offered. Analytical expressions of determination of belonging of arbitrary target are got to one of offered groups. Procedure of forming of group of vessels which co-operate is developed, in case of occurring of situation of dangerous rapprochement.

Аннотация. Предложена декомпозиция возможного множества окружающих целей на восемь подмножеств по признаку сближения с судном и уровнем опасности сближения. Получены аналитические выражения определения принадлежности произвольной цели одному из предложенных подмножеств. Разработана процедура формирования группы судов, которые взаимодействуют, при возникновении ситуации опасного сближения.

Key words: safety of navigation, warning of collision of vessels, co-operation at rapprochement, groups of vessels.

Ключевые слова: безопасность судоходства, предупреждение столкновения судов, взаимодействие при сближении, подмножества целей.

Постановка проблемы.

Одной из важнейших проблем безопасности мореплавания является обеспечение безаварийности судоходства, успешное решение которой ведет к улучшению охраны человеческой жизни на море, а также к снижению вреда окружающей среде, имуществу и производственным процессам.

Стесненные районы характеризуются интенсивным судоходством и навигационными препятствиями, создающими предпосылки для возникновения аварийных ситуаций и являющимися причиной свыше 80 % всех навигационных аварий, чем подтверждается большая сложность плавания в стесненных водах.

Одной из особенностей плавания в стесненных районах является возникновение ситуаций опасного сближения нескольких целей, что требует разработки методов обеспечения безопасного расхождения судов в таких ситуациях.

Поэтому разработка способов управления судами в ситуациях опасного сближения, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций.

Понятие взаимодействия судов в ситуации опасного сближения и возникновении угрозы столкновения введено в работе [1], в которой также предложена формализация МППСС-72. Работа [2] посвящена разработке метода гибких стратегий

расхождения, который при локально-независимом управлении позволяет выбрать оптимальную стратегию расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом требований МППСС-72 и мешающих факторов.

Приложения игровых подходов в навигационных математических моделях безопасного управления судами и методов теории игр для автоматизации регулирования процессов перемещения судов рассматриваются в работе [3]. В работе [4] показано, что судовые подсистемы производят управление одного из подпроцессов движения судна, который описывается подходящими дифференциальными уравнениями кинематики или динамики судна. К таким подпроцессам относятся: стабилизация судна на курсе или траектории; корректировка скорости судна; точное управление судном на маленьких скоростях в порту; динамическая стабилизация судна при бурении или положение танкера при грузовых операциях в море.

Метод предупреждения столкновения судов смещением на параллельную линию пути рассмотрен в монографии [5], а в работе [6] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения.

Метод оценки риска столкновения с использованием режима истинного движения рассматривается и обсуждается в работе [7]. В статье вводятся линия прогнозируемого столкновения (ЛОПС) и зона препятствий по цели

(OZT) для оценки риска столкновения, эти значения связаны с истинным движением, и это дает возможность выявить ситуации опасного сближения и обеспечить безопасное плавание в стесненных водах.

Теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА излагается в работе [8]. Причем исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены классическим подходом, основанным на математических моделях и алгоритмах, или компьютерной технологией, использующую искусственный интеллект.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Как показано в работе [9], в настоящее время производится интенсивная разработка способов оценки наличия угрозы столкновения сближающихся судов и выбора оптимальной стратегии их расхождения использованием областей недопустимых значений параметров движения судов, которые могут быть применимы как для локально-независимого, так и полного внешнего управления процессом расхождения судов.

В случае внешнего управления процессом расхождения ситуация сближения пары судов наблюдается внешним управленцем и при появлении угрозы столкновения формируется стратегия расхождения судов, которая предусматривает изменение их параметров движения.

Если в качестве переменных параметров выбираются курсы сближающихся судов, то формируется область недопустимых значений курсов пары судов, форма и размеры которой зависят от соотношения их скоростей и параметров относительной ситуации сближения.

Если точка с программными курсами судов K_{10} и K_{20} находится внутри области недопустимых значений курсов пары судов Ω_K , то их сближение является опасным. При необходимости выполнения маневра расхождения курсы уклонения судов K_{1y} и K_{2y} выбираются таким образом, чтобы точка (K_{1y}, K_{2y}) принадлежала границе области Ω_K и минимально отстояла от точки (K_{10}, K_{20}) .

При наличии навигационных опасностей в районе плавания судов в случае их опасного сближения может возникнуть ситуация, когда суда не могут изменять свой курс, поэтому для предупреждения их столкновения следует изменять скорости. В этом случае формируется область недопустимых значений скоростей пары судов.

Для стратегии расхождения, при котором одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе снижает свою скорость, рассмотрена область недопустимых значений курсов одного судна и скоростей другого судна, когда в качестве переменных параметров выбираются курс одного судна K_1 (K_2) и скорость второго судна V_2 (V_1), а

неизменными являются параметры движения судов K_2 (K_1) и V_1 (V_2).

При локально-независимом управлении процессом расхождения выбор маневра расхождения производится оперирующим судном изменением своих параметров движения K_1 и V_1 при допущении постоянства параметров движения K_2 и V_2 цели. Очевидно, переменными параметрами выбираются параметры движения судна и формируется область Ω_d недопустимых значений параметров движения судна.

При использовании рассмотренных методов оценки опасности сближения судов и выбора маневра расхождения с помощью областей опасных значений параметров движения оператору следует вначале установить принадлежность точки с начальными параметрами движения к соответствующей области. В случае опасного сближения оператор должен выбрать параметры маневра расхождения на границе области.

С учетом вышеприведенных методов определения опасности сближения судов и выбора маневра расхождения с помощью областей опасных значений параметров движения была произведена оценка эффективности основных аналитических систем предупреждения столкновений судов, которые относятся как к группе с локально-независимым управлением процессом расхождения, так и к группе с внешним управлением процессом расхождения.

В результате анализа оказалось, что аналитические системы с внешним управлением обладают наибольшей эффективностью.

Однако внешнее управление процессом расхождения в настоящее время может быть реализовано только системой управления движением судов (СУДС), что из экономических соображений возможно только в некоторых участках стесненных вод.

Поэтому целесообразно произвести разработку аналитической системы, которая бы использовала внешнее управление процессом расхождения и не требовала применения СУДС. Такая система может входить в состав САРП и находится на каждом из судов, причем из САРП и АИС получать информацию об окружающих судах и параметрах их движения.

Используя полученную информацию, предлагаемая аналитическая система должна решать две последовательные задачи. Во-первых, в условиях интенсивного судоходства определить группу взаимодействующих судов при возникновении ситуации опасного сближения. Во-вторых, с помощью методов внешнего управления процессом расхождения автоматически решить задачу выбора стратегии расхождения изменением параметров движения и выделить индивидуальный маневр расхождения каждого из судов, входящий в полученную в результате решения совместную стратегию.

В данной статье рассмотрим первую задачу - определение группы взаимодействующих судов при возникновении ситуации опасного сближения.

Цель статьи.

Целью статьи является разработка процедура определения группы взаимодействующих судов при возникновении ситуации опасного сближения в условиях интенсивного судоходства.

Изложение основного материала.

Допустим, в стесненном районе плавания имеется некоторое конечное множество судов Mn_o , из которого необходимо сформировать группу взаимодействующих судов \sum_{nS} , число судов которой равно или меньше числу судов исходного множества Mn_o , т. е. $\sum_{nS} \subseteq Mn_o$.

Учитывая, что суда множества Mn_o перемещаются и их относительные позиции изменяются, можно утверждать, что структура группы \sum_{nS} и матрица D_{bn} ситуационного возмущения соотносятся с некоторым моментом времени t , т. е. $\sum_{nS}(t)$ и $D_{bn}(t)$. Так, как структура группы судов \sum_{nS} изменчива во времени, то ее управление предполагает наблюдение ее состояния (структуры и матрицы D_{bn}) в некоторый момент наблюдения t_n и прогноз состояния на некоторый интервал времени Δt_n , полагая, что все характеристики группы судов, не зависящие от времени, остаются неизменными в течении интервала Δt_n .

Поэтому предполагается, что группа судов \sum_{nS} , в момент времени наблюдения t_n , сохраняется в течение интервала времени Δt_n , а в очередной момент времени наблюдения $t_n + \Delta t_n$ осуществляется контроль структуры группы судов \sum_{nS} и матрицы ситуационного возмущения.

Необходимо учитывать, что формирование группы судов \sum_{nS} осуществляется по разным алгоритмам для случая управления судами СУДС или судовой информационной системой, решающей задачу совместной компенсации ситуационного возмущения.

Так, в случае, когда внешним управленцем является СУДС, основным принципом выделения группы взаимодействующих судов является учет их близости к СУДС. Так как СУДС располагаются в непосредственной близости от стесненных районов с интенсивным движением, то им предписывается некоторый район контроля и управления движущихся судов, который обозначен S_c . Поэтому группой взаимодействующих судов являются суда, которые находятся в районе контроля и управления S_c , причем их количество ограничено в зависимости от пропускной способности СУДС.

В этом случае размерность матрицы

ситуационного возмущения D_{bn} определяется числом судов, находящихся в районе S_c , а элементы матрицы, т. е. парные ситуационные возмущения судов, определяются по их относительным позициям и параметрам движения. Если судно покидает район S_c , то оно исключается из группы взаимодействующих судов, а если, наоборот, входит в район S_c , то оно включается в группу \sum_{nS} .

Для алгоритма выделения группы судов \sum_{nS} , когда в качестве внешнего управленца используется судовая информационная система совместной компенсации ситуационного возмущения, следует предложить другой принцип, который заключается в следующем.

Судовая информационная система в качестве первого судна c_1 формируемой группы взаимодействия \sum_{nS} , выбирает судно, на котором она установлена. Последующие суда включаются в начальную группу, исходя из следующих соображений.

Прежде всего, следует учитывать два условия остановки включения судов исходного множества Mn_o в начальную группу судов \sum_o . Во-первых, если дистанция до судна L_i превосходит предельную L_{max} , и, во-вторых, если интервал времени до начала взаимодействия с i -м судном Δt_{bi} превосходит глубину прогноза Δt_n .

Судовая информационная система в области радиусом L_{max} определяет опасность сближения с каждым из окружающих судов, начиная с того, до которого дистанция минимальная. Процедура обнаружения опасного сближения дает симметричный результат для анализируемой пары судов, т. е. если судно c_1 опасно сближается с судном c_i , то и судно c_i опасно сближается с судном c_1 , причем опасность столкновения одинакова. Если опасность столкновения с судном c_i отлична от нуля и выполняется условие $\Delta t_n > \Delta t_{bi}$, то судно включается в начальную группу судов \sum_o . Формирование начальной группы продолжается до тех пор, пока не вступит в силу ограничение по максимальной дистанции. Таким образом выявляются начальная группа судов, с которыми возможно взаимодействие судна c_1 .

Далее следует произвести анализ судов (целей) начальной группы \sum_o , каждая из которых характеризуется позицией относительно оперирующего судна c_1 , пеленгом α_i и дистанцией l_i , а также параметрами истинного движения скоростью V_i и курсом K_i .

В первую очередь рассмотрим подмножество целей, разделенных по степени опасности столкновения оперирующего судна с каждой из них. В первое подмножество целей M_1 следует отнести те цели, которые удаляются от оперирующего судна, причем при любом изменении курса цели данного подмножества и неизменных параметрах движения оперирующего

судна дистанция l_i не уменьшается. Ко второму подмножеству целей M_2 отнесем те цели, дистанция l_i до которых увеличивается, однако, при неизменных параметрах движения цели этого подмножества для любых курсов оперирующего судна K_0 дистанция l_i не уменьшается. Третье подмножество целей M_3 также характеризуется тем, что дистанция l_i до них увеличивается, однако они не принадлежат к первым двум подмножествам M_1 и M_2 .

Для остальных подмножеств целей характерно то, что они сближаются с оперирующим судном, и их можно дифференцировать по признаку опасности столкновения. Известно, что степень опасности сближения судов характеризуют предельно – допустимой дистанцией кратчайшего сближения. В работе [2] предлагается рассматривать два значения предельно – допустимой дистанции кратчайшего сближения для случаев обычного и экстренного маневрирования, которые обозначены соответственно через l_{1d} и l_{2d} . Поэтому к четвертому подмножеству M_4 отнесены цели, дистанция l_i до которых уменьшается, однако дистанция кратчайшего сближения $l_{i\min}$ больше предельно – допустимой дистанции l_{1d} , т. е. относительное перемещение судов не является опасным.

К дальнейшим подмножествам принадлежат только те цели, которые создают опасность столкновения. Очередное, пятое, подмножество M_5 содержит цели, с которыми оперирующее судно находится в первой области взаимных обязанностей, т. е. в текущий момент времени активное (уступающее дорогу) судно может не предпринимать маневра для расхождения (например, его маневр будет малозаметным). К шестому подмножеству M_6 относятся такие цели, которые находятся во второй области взаимных обязанностей, в которой активное судно должно уступить дорогу, а пассивное – следовать с неизменными параметрами движения. Цели, находящиеся в третьей области взаимных обязанностей, в которой активное судно обязано уступить дорогу, а пассивное, если сочтет необходимым, может предпринять маневр расхождения, формируют седьмое подмножество M_7 .

Восьмое подмножество M_8 составляют цели, которые находятся в четвертой области взаимных обязанностей, - области экстренного маневрирования, когда оба взаимодействующие судна должны предпринять срочные меры для предотвращения столкновения.

Таким образом, множество начальной группы окружающих целей Σ_0 содержит некоторое количество перечисленных подмножеств, по крайней мере хотя бы одно из них. Анализ предложенной декомпозиции начальной группы Σ_0 на подмножества показывает, что декомпозиция производится по следующим параметрам:

1. Характер изменения дистанции между целью c_i и оперирующим судном c_1 , (увеличение или уменьшение). По данному параметру производится декомпозиция на подмножества M_1 , M_2 и M_3 , которым соответствует увеличение дистанции ($\partial l_i / \partial t \geq 0$), и подмножества M_4 , M_5 , M_6 , M_7 и M_8 , для которых $\partial l_i / \partial t < 0$.

2. Возможность изменить рост дистанции маневром оперирующего судна или цели для случая $\partial l_i / \partial t \geq 0$, что позволяет произвести декомпозицию на подмножества M_1 , M_2 и M_3 .

3. Соотношение дистанции кратчайшего сближения $l_{i\min}$ с предельно- допустимой дистанцией l_{1d} , выделяющее подмножество M_4 , в случае $l_{i\min} > l_{1d}$ от M_5 , M_6 , M_7 и M_8 .

4. Принадлежность цели и оперирующего судна к определенной области взаимных обязанностей, по этому параметру происходит декомпозиция на подмножества M_5 , M_6 , M_7 и M_8 .

Приведем аналитические выражения для декомпозиции исходного множества судов M на подмножества по рассмотренным признакам, которые приведены в работе [2], и показано, что при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) > 0$, текущая дистанция между судном и целью сокращается, а при $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$ текущая дистанция увеличивается, где K_{oti} - относительный курс с i -й целью. Поэтому для начальной декомпозиции исходного множества следует для каждой из целей произвести анализ знака выражения $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$. Для целей, у которых $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni}) < 0$, т. е. подмножеств M_1 , M_2 и M_3 параметром дальнейшей декомпозиции является возможность изменить знак выражения $\cos(K_{oti} - \alpha_{ni})$ путем изменения курсов целью или оперирующим судном. Если скорость цели V_i не будет превосходить проекцию скорости оперирующего судна V_0 на направление пеленга, то цель не сможет сокращать расстояние до оперирующего судна, т. е. должно быть справедливым выражение $V_i < V_0 \cos(K_o - \alpha_{ni})$. В этом случае цель, отвечающая приведенному условию, будет относиться к первому подмножеству M_1 . Аналогично, оперирующее судно не сможет сократить дистанцию до цели, если его скорость будет меньше проекции скорости цели на направление пеленга, т. е. будет иметь место следующее неравенство $V_0 < V_i \cos(K_i - \alpha_{ni})$. Очевидно, что все цели, для которых справедливо это соотношение относятся к подмножеству целей M_2 . Если же параметры цели не удовлетворяют ни одному из этих условий $V_i < V_0 \cos(K_o - \alpha_{ni})$ и $V_0 < V_i \cos(K_i - \alpha_{ni})$, то цель принадлежит к подмножеству M_3 , когда в результате маневрирования оперирующего судна или цели возможно сокращение расстояния, которое вначале увеличивалось.

Дальнейшая декомпозиция предусматривает получение подмножеств целей, которые сближаются с оперирующим судном. Соответствующим параметром является соотношение дистанций кратчайшего сближения $l_{i\min}$ и предельно-допустимой l_{1d} . Причем, если

имеет место неравенство $l_{i \min} > l_{1d}$, то цель относится к подмножеству M_4 . С учетом того, что дистанция кратчайшего сближения $l_{i \min}$ определяется известным выражением [9]:

$$l_{i \min} = l_{ni} \sin(K_{oti} - \alpha_{ni}),$$

условие принадлежности цели подмножеству M_4 принимает вид:

$$l_{ni} \sin(K_{oti} - \alpha_{ni}) > l_{1d}.$$

Если приведенное условие не выполняется, то цель принадлежит одному из подмножеств M_5 , M_6 , M_7 или M_8 , характеризующие цели, сближение с которыми создает угрозу столкновения. Принадлежность цели к одному из указанных четырех подмножеств определяет область взаимных обязанностей оперирующего судна и цели. В качестве параметра, характеризующего дальнейшую декомпозицию на подмножества M_5 , M_6 , M_7 и M_8 используется соотношение времени кратчайшего сближения $t_{i \min}$ с i -й целью со значениями t_{i1} , t_{i2} и t_{i3} , которые зависят от предельно-допустимых дистанций l_{1d} и l_{2d} , а также от параметров движения и относительной позиции оперирующего судна и i -й цели. Известно, что [2]:

$$t_{i \min} = \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}},$$

где V_{oti} - относительная скорость с i -й целью.

Если справедливо неравенство $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i1}$, то цель принадлежит к подмножеству M_5 . В случае справедливости условия $\frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i2}$ цель принадлежит подмножеству M_6 , которое характеризует вторую область взаимных обязанностей судов. Если выполняется условие $t_{i2} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}} > t_{i3}$, то цель принадлежит подмножеству M_7 . Принадлежность цели к последнему из рассматриваемых подмножеств M_8 определяется справедливостью неравенства $t_{i3} > \frac{l_{ni} \cos(K_{oti} - \alpha_{ni})}{V_{oti}}$, что относится к целям, находящиеся в области экстренного маневрирования.

Таким образом, каждая из окружающих судно целей принадлежит к одному из восьми рассмотренных непересекающихся подмножеств, упорядоченных по степени опасности, принадлежащих ему целей.

С учетом вышеизложенного рассмотрим выделение группы взаимодействующих судов \sum_{NS} из начальной группы Σ_o . Очевидно, что из начальной группы Σ_o следует исключить суда, принадлежащие подмножествам M_1 , M_2 и M_3 . Оставшиеся суда составляют группу взаимодействующих судов \sum_{NS} , для которых необходимо сформировать матрицу ситуационного

возмущения. Тем судам, ситуационное возмущение которых не равно нулю, информационная система оперирующего судна c_1 передает сообщение с предложением о включении их в группу опасно сближающихся судов Σ_d . Если предложение принято, то отвечающее судно включается в группу Σ_d , а противном случае оно идентифицируется, как мешающее судно.

Поэтому выбор стратегии расхождения производится изменением курсов части или всех судов группы Σ_d с учетом мешающих судов. Затем по полученной стратегии расхождения задействованным судам сообщаются их курсы уклонения и время их начала.

Выводы и предложения.

1. Предложена декомпозиция возможного множества окружающих целей на восемь подмножеств по признаку сближения с судном и уровнем опасности сближения.
2. Получены аналитические выражения определения принадлежности произвольной цели одному из предложенных подмножеств.
3. Разработана процедура формирования группы взаимодействующих судов при возникновении ситуации опасного сближения.

Список литературы:

1. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.- 312 с.
2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Lisowski J. The dynamic game models of safe navigation/ Lisowski J. // Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. - 2007. - P. 23 – 30.
4. Lisowski J. Intelligent safe ship control methods in collision avoidance/ Lisowski J. // Proc. of European Control Conference. - 2007. – P. 1-6.
5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
6. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
7. Imazu H. Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion / Imazu H.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2017, Vol. 11, No. 1, p. 65-70.
8. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.
9. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT

Fedorov D.B.

PhD student,

National University «Odessa Maritime Academy»

**METHOD OF AUTOMATIC DETERMINATION OF OPTIMUM MANOEUVRE DIVERGENCE
BY CHANGES COURSE ONE SHIP AND SPEED OF OTHER SHIP****Федоров Дмитрий Борисович**

аспирант кафедры Управление судном,

Национальный университет "Одесская морская академия"

**СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАНЕВРА
РАСХОЖДЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ КУРСА ОДНОГО СУДНА И СКОРОСТИ ДРУГОГО СУДНА**

Summary. The method of automatic choice of optimum strategy of divergence of vessels is considered simultaneous by the changes of course of one ship and speed of other ship. The example of dangerous situation of rapprochement of vessels and choice of optimum strategy of their divergence by the change of course of one ship and diminishment of speed by the active braking of other ship is resulted. The imitation design of maneuver of divergence confirms correctness of the offered method.

Аннотация. Рассмотрен метод автоматического выбора оптимальной стратегии расхождения судов одновременными изменениями курса одного судна и скорости другого судна. Приведен пример опасной ситуации сближения судов и выбор оптимальной стратегии их расхождения изменением курса одного судна и снижением скорости активным торможением другого судна. Имитационным моделированием маневра расхождения подтверждена корректность предложенного метода.

Key words: *safety of navigation, divergence of vessels at dangerous rapprochement, maneuver of divergence by the change of course and active braking, imitation design.*

Ключевые слова: *безопасность судоходства, расхождение судов при опасном сближении, маневр расхождения изменением курса и активным торможением, имитационное моделирование.*

Постановка проблемы.

Стесненные воды характеризуются навигационными препятствиями и интенсивным движением судов, что ведет к росту риска возникновения аварий судов. По этой причине подходы ко всем крупным портам и транзитным районам интенсивного судоходства оборудуются системами управления движением судов (СУДС), которые не только контролируют процесс судоходства, но и обеспечивают его безопасность, предупреждая возможные столкновения судов при их опасном сближении. Этим обстоятельством обусловлена необходимость разработки методов внешнего управления процессом расхождения судов.

Субъективность оператора СУДС при оценке ситуаций сближения и принятия решений по предупреждению столкновения могут усугубить ситуацию опасного сближения судов, поэтому целесообразным для снижения влияния человеческого фактора при выборе маневра расхождения является автоматизация определения его оптимальных параметров, что рассмотрено в данной публикации.

Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] предложен способ расхождения судна с двумя опасными целями путем последовательных уклонений от каждой из них. С помощью компьютерной программы для заданной ситуации опасного сближения были рассчитаны параметры маневра расхождения судна в

относительном движении двумя относительными курсами уклонениями, причем относительные траектории расхождения являются касательными к круговым доменам целей.

Теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА рассмотрено в работе [2]. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно Правила уклонения от столкновения COLREG. Также рассматриваются требования к автономной навигации, учитывающие факторы, которые влияют на процесс уклонения от столкновения. Отмечается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены классическим подходом, основанным на математических моделях и алгоритмах, или компьютерной технологией, использующую искусственный интеллект. Причем областью искусственного интеллекта для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются эволюционные алгоритмы, логика фуззи, экспертные методы, нейросеть и комбинация этих методов — гибридные системы.

В работе [3] предложено описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной антагонистической игры. Анализируемые работы вносят значительный вклад в теорию решения проблемы предупреждения столкновений судов, однако при формировании стратегии расхождения они не предусматривают возникновение ситуации

опасного сближения судна с несколькими целями.

В монографии [4] предложен универсальный метод предупреждения столкновения судна с несколькими целями путем смещения на параллельную линию пути, а в публикации [5] указывается, что СУДС, как правило, не имеет технических возможностей контролировать движение судов на участках их скопления и для уклонения от столкновения в статье предложен новый фуззи-метод. Используя аналитическую модель морской системы GIS, может быть получено точное прогнозирование времени столкновения и позиции. Предложенный метод дает оператору СУДС возможность принятия решений по предупреждению столкновения судов.

В работе [6] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ методов их реализации и рассмотрены перспективные актуальные способы повышения безопасности предупреждения столкновений судов.

В работе [7] рассмотрены взаимодействие судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии расхождения для предупреждения их столкновения, а в работе [8] приведено подробное исследование методов локально-независимого управления и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. Экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближения судов предложена в работе [9].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В работе [10] предложен маневр безопасного расхождения сближающихся судов, при котором

одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе снижает свою скорость. В указанном случае формируется область опасных курсов одного судна и скоростей другого судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным.

При использовании предлагаемого маневра расхождения предполагается, что маневры обоих судов начинаются в нулевой момент времени, и для каждого курса K_{1y} первого судна определяется скорость торможения второго судна V_{2y} , при которой суда разойдутся на дистанции кратчайшего сближения $min D$ равной предельно-допустимой дистанции d_d . При расчете скорости V_{2y} предполагается снижение скорости второго судна до значения V_{2y} , а затем следование с этой скоростью до момента времени кратчайшего сближения, после чего второе судно увеличивает скорость до начального значения.

Таким образом формируется граница области Ω_{KVj} с учетом продолжительности переходного процесса до заданной скорости V_{2y} и длины тормозного пути за это время. На рис. 1 показана область Ω_{KVj} для заданной ситуации опасного сближения, причем снижение скорости второго судна производилось активным торможением. Представлены результаты проверки корректности расчета границы области Ω_{KVj} , - была выбрана точка границы с параметрами $K_{1y}=163^\circ$ и $V_{2y}=15,6$ узла, для которой получено значение $min D=1,01$ мили.

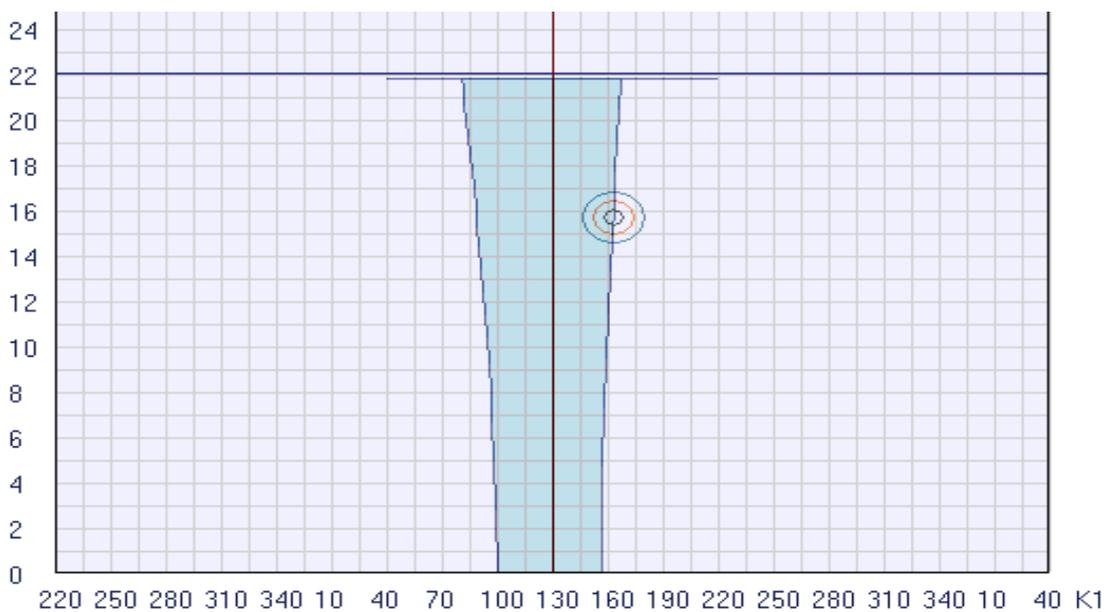


Рис. 1. Область Ω_{KVj} с учетом тормозных характеристик судна

Выбор маневра расхождения с помощью области Ω_{KVj} производится оператором СУДС и требует некоторого времени, более того, его субъективные оценка ситуации сближения и выбора маневра расхождения могут усилить угрозу

возможного столкновения. По этой причине для снижения влияния человеческого фактора при выборе маневра расхождения целесообразно разработать метод автоматического определения его оптимальных параметров.

Цель статьи.

Целью статьи является разработка способа автоматического выбора оптимальной стратегии расхождения судов одновременными изменениями курса одного судна и скорости другого судна.

Изложение основного материала.

Рассмотрим вопрос автоматического определения параметров оптимального маневра расхождения изменениями курса одного судна и скорости другого судна с учетом динамики судов.

Учет инерционности поворота первого судна и инерционно-тормозных характеристик второго судна при расчете безопасного маневра расхождения судов предполагает для каждого курса K_{1y} первого судна определить скорость торможения второго судна V_{2y} , при которой суда разойдутся на дистанции кратчайшего сближения D_{\min} , равной предельно-допустимой дистанции D_d . Расчет скорости торможения второго судна предполагает снижение его скорости до значения V_{2y} и следование с этой скоростью до момента времени кратчайшего сближения, после этого второе судно увеличивает скорость до начального значения.

Маневры обоих судов должны начинаться в нулевой момент времени, а определение параметров безопасного маневра расхождения (K_{1y}, V_{2y}) заключается в следующем.

Вначале следует определить момент времени t_{yk} окончания поворота первого судна и приращения его координат за это время. Также на этот момент времени вычисляются координаты судов, пеленг и дистанция между ними. Затем определяются приращения координат второго судна и его уменьшающаяся скорость $V_{2t}(t_{yk})$.

Располагая значениями K_{1y}, V_1, K_2 и $V_{2t}(t_{yk})$, рассчитываются относительный курс и дистанция кратчайшего сближения D_{\min} , которая сравнивается с предельно-допустимой дистанцией сближения D_d . Если D_{\min} меньше D_d , то значение скорости второго судна уменьшается до величины $V_{2y} = V_{2t}(t_{yk}) - 0,1$, для которого повторно рассчитываются длительность переходного процесса, пройденное расстояние, текущие значения координат, пеленг, дистанция, относительный курс и дистанция кратчайшего сближения D_{\min} . Полученная дистанция кратчайшего сближения опять сравнивается с предельно-допустимой дистанцией D_d . Если $D_{\min} < D_d$, то величина V_{2y} снова уменьшается на 0,1 узла и находится D_{\min} , которая сравнивается с D_d .

Циклический процесс уменьшения скорости V_{2y} с шагом 0,1 узла производится до тех пор, пока не достигается равенство $D_{\min} = D_d$. Если же при всех $V_{2y} \geq 0$ указанное равенство не достигается, выполнение маневра расхождения снижением скорости второго судна невозможно. Поэтому для проверки возможности безопасного расхождения целесообразно рассчитать дистанцию кратчайшего сближения для полной остановки второго судна.

Рассмотрим процедуру определения безопасного маневра при активном и пассивном торможении второго судна в процессе расхождения. Для каждого из курсов уклонения первого судна вправо $K_{1y}^{(s)}$ из интервала $[K_1 + 30, K_1 + 70]$, т. е. $K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 30, K_1 + 70]$, следует определить возможность безопасного расхождения остановкой второго судна активным или пассивным торможением, предполагая, что начало поворота первого судна на курс $K_{1y}^{(s)}$ и торможение второго судна начинается в нулевой момент времени.

Отметим, что независимо от режима торможения второго судна интервал времени поворота первого судна и приращения его координат за это время оценивается с помощью модели поворота судна с постоянной угловой скоростью:

$$\tau_1 = \Delta K / a_\omega,$$

где ΔK - приращение курса судна за время поворота, причем $\Delta K = K_{1y}^{(s)} - K_1$;

a_ω - угловая скорость поворота.

Его приращение координат Δx_o и Δy_o за время поворота τ_1 определяется выражениями [6]:

$$\Delta x_o = \frac{V_o}{a_\omega} (\cos K_1 - \cos K_{1y}^{(s)}),$$

$$\Delta y_o = \frac{V_o}{a_\omega} (\sin K_{1y}^{(s)} - \sin K_1).$$

Если применяются более сложные динамические модели вращательного движения судна, то следует учитывать две фазы поворота судна, продолжительность которых Δt_k и Δt , как подробно рассмотрено в работе [6].

Далее для начальной скорости второго судна V_2 и режима торможения (активного или пассивного) рассчитывается его выбег S и интервал времени τ_2 до остановки судна. Очевидно, координаты первого X_1, Y_1 и второго X_2, Y_2 судов на момент времени остановки второго судна определяются выражениями:

$$X_2 = S \sin K_2, Y_2 = S \cos K_2,$$

$$X_1 = D \sin \alpha - V_1 \tau_2 \sin K_1 - \Delta x_o,$$

$$Y_1 = D \cos \alpha - V_1 \tau_2 \cos K_1 - \Delta y_o,$$

где α и D - начальные пеленг со второго судна на первое и дистанция между ними.

Дистанция D_f между судами в момент времени остановки второго судна определяется выражением:

$$D_f = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}.$$

Затем необходимо сравнить полученную дистанцию D_f с предельно - допустимой

дистанцией сближения D_d . В случае $D_f < D_d$ расхождение остановкой второго судна невозможно. В противном случае ($D_f > D_d$) следует рассчитать дистанцию кратчайшего сближения первого судна с остановившимся вторым судном $D_{\min f}$:

$$D_{\min f} = \left| D_f \sin[\alpha_f - K_{1y}^{(s)}] \right|,$$

где α_f - пеленг на второе судно в момент его остановки.

При $D_{\min f} > D_d$, то возможно расхождение снижением скорости второго судна до определенного значения V_{2y} , при котором выполняется равенство:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Значение искомой скорости V_{2y} рассчитывается способом последовательных приближений, в котором скорость торможения второго судна на каждом i -м цикле вычислений принимается равной $V_{2y} = V_2 - 0,1 * i$. Продолжительность переходного процесса торможения $\tau(V_{2y})$ и пройденное за это время расстояние $S(V_{2y})$ для активного и пассивного торможения рассчитываются с помощью выражений, приведенных в работе [6]:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} [\arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_2) - \arctg(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{2y})],$$

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{2y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|,$$

где $(1+k)m$ - масса второго судна с присоединенными массами воды;

P - упор его винта;

μ - коэффициент сопротивления.

В случае пассивного торможения используем выражения:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\mu V_2} \left(\frac{V_2}{V_{2y}} - 1 \right),$$

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.$$

Вычисления циклически продолжаются до тех пор, пока не наступает справедливость равенства:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Таким образом производится расчет параметров безопасного маневра расхождения изменениями курса одного судна и скорости другого судна для всех курсов $K_{1y}^{(s)}$ уклонения первого судна $K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 5, K_1 + 70]$. Аналогично производится расчет параметров безопасного маневра расхождения для курсов уклонения судна влево.

Для определения оптимального маневра расхождения необходимо сформировать множество безопасных маневров расхождения (K_{1y}, V_{2y}) , как для курсов уклонения вправо, так и влево, и для каждого маневра множества рассчитать критерий оптимальности $Q = \Delta K_1 \Delta V_2$. Из множества в качестве оптимального выбирается маневр расхождения с минимальным значением критерия оптимальности Q .

Приведем результаты проверки корректности способа автоматического определения оптимального маневра расхождения изменениями курса одного судна и скорости другого судна активным торможением.

Ситуация опасного сближения судов показана на рис. 2, параметры которой $\alpha=220^\circ$, $D=3,0$ мили, $K_1 = 249^\circ$, $V_1 = 22$ уз, $K_2 = 3^\circ$, $V_2 = 18$ уз, $D_d = 1$ миля.

Компьютерной программой были рассчитаны параметры маневра расхождения при уклонении первого судна вправо $K_{1y} = 280^\circ$ и $V_{2y} = 17$ уз. Для проверки корректности рассчитанного маневра расхождения проводилось имитационное моделирование. Начало процесса расхождения показано на рис. 3, а на рис. 4 представлена ситуация завершения поворота первым судном на 20 секунде.

Как показано на рис. 5, на 26 секунде завершается торможение второго судна. Процесс расхождения на 155 секунде отображен на рис. 6, а кратчайшее сближение судов представлено на рис. 7.

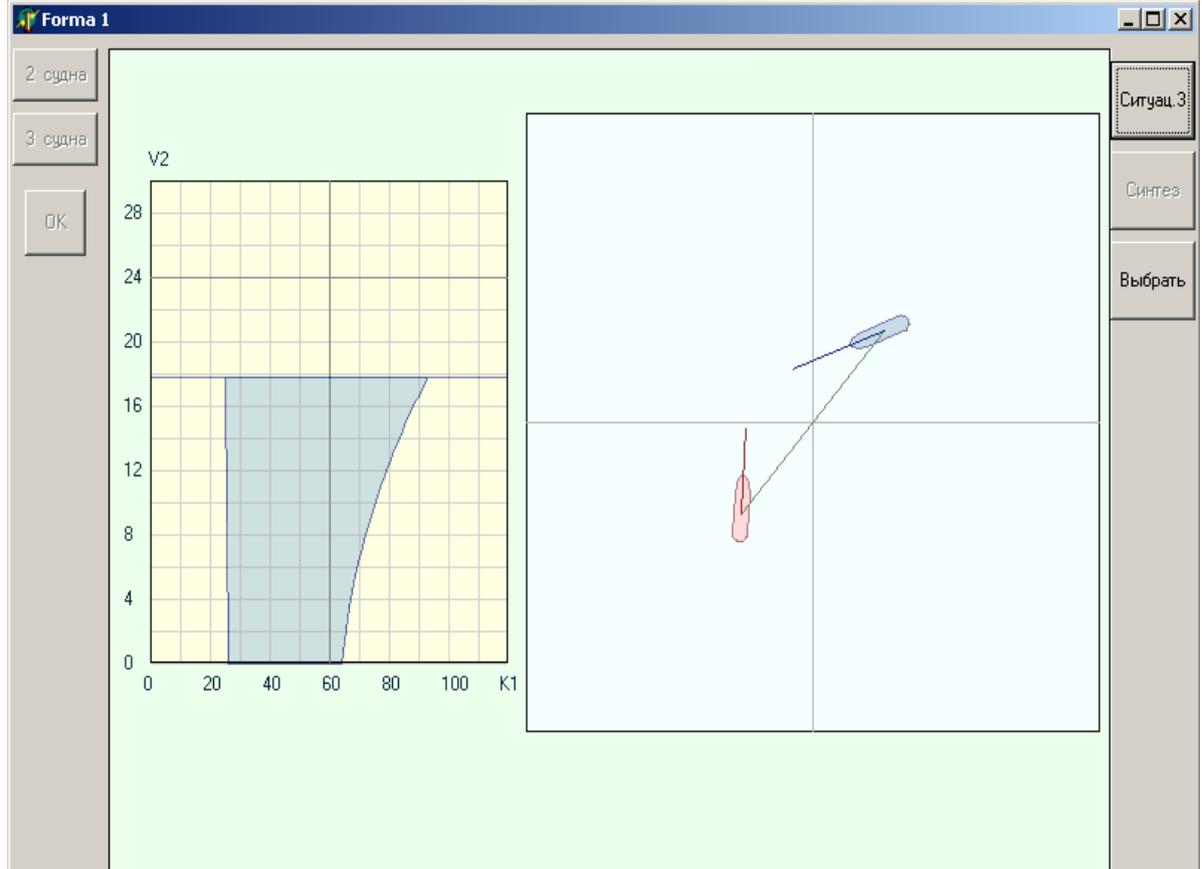


Рис. 2. Начальная ситуация опасного сближения судов

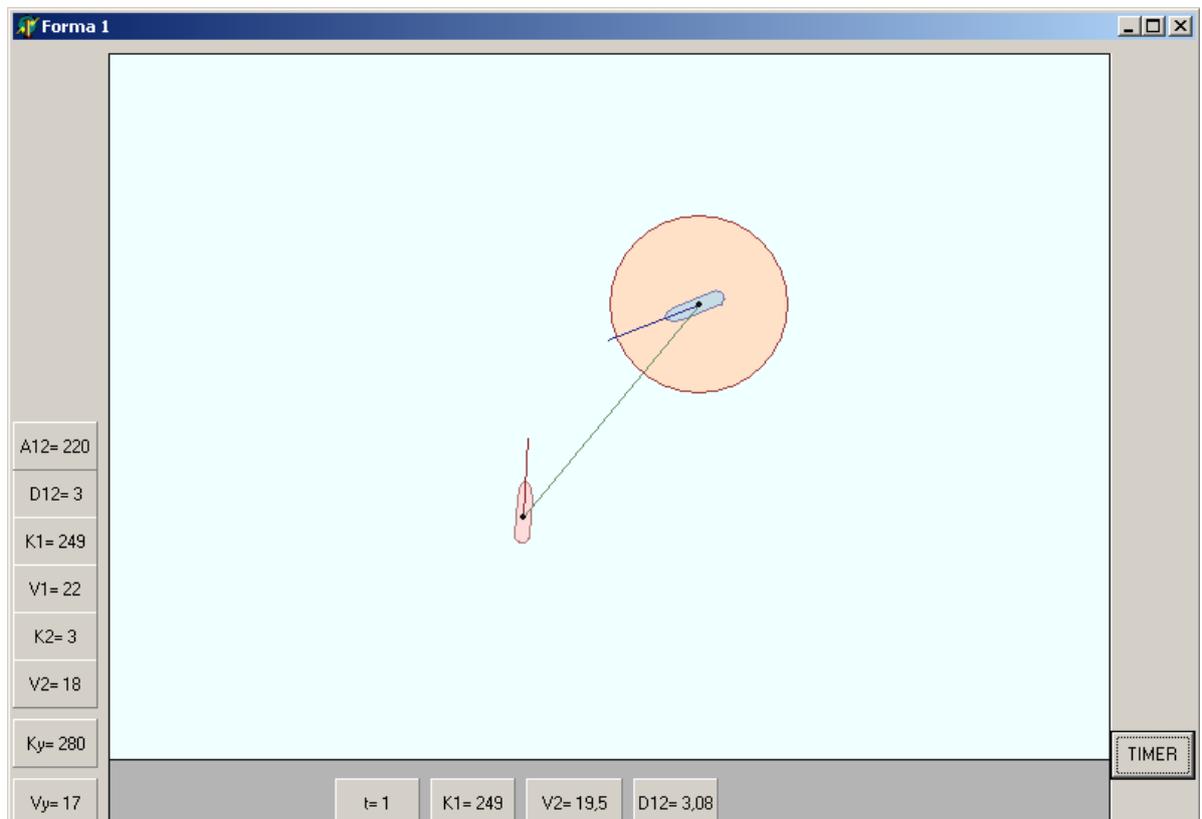


Рис. 3. Начало процесса расхождения

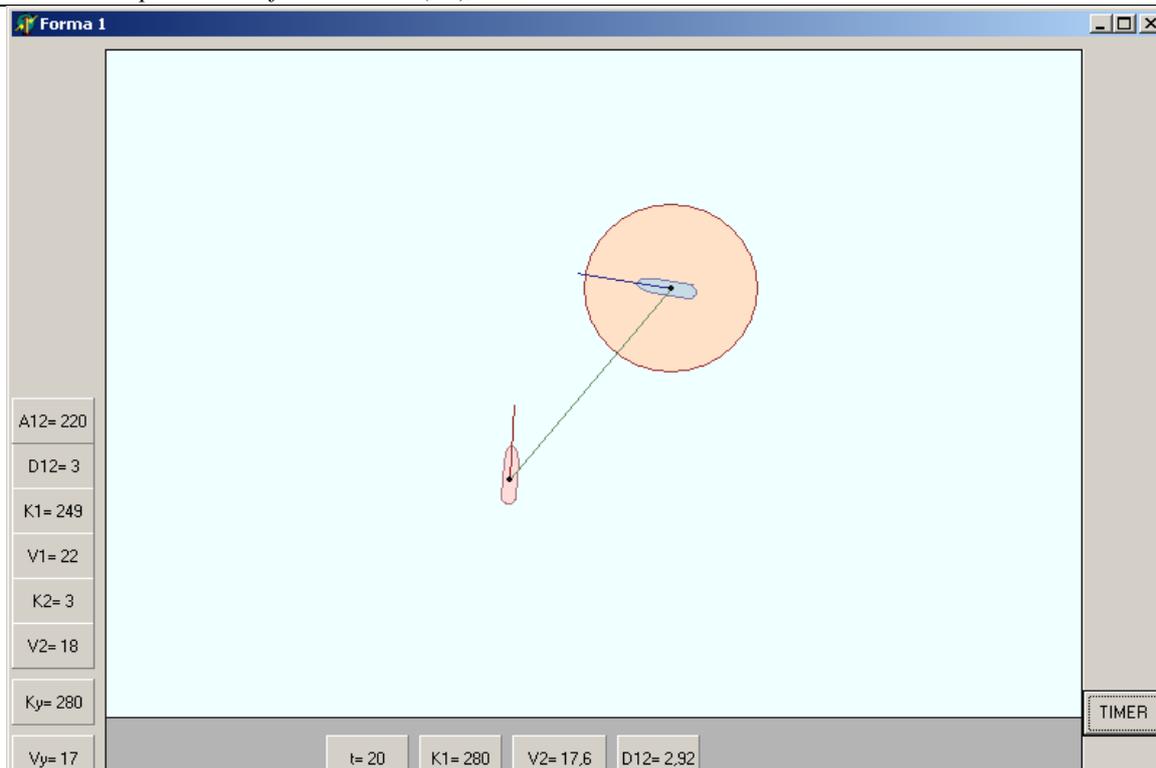


Рис. 4. Завершение поворота первым судном

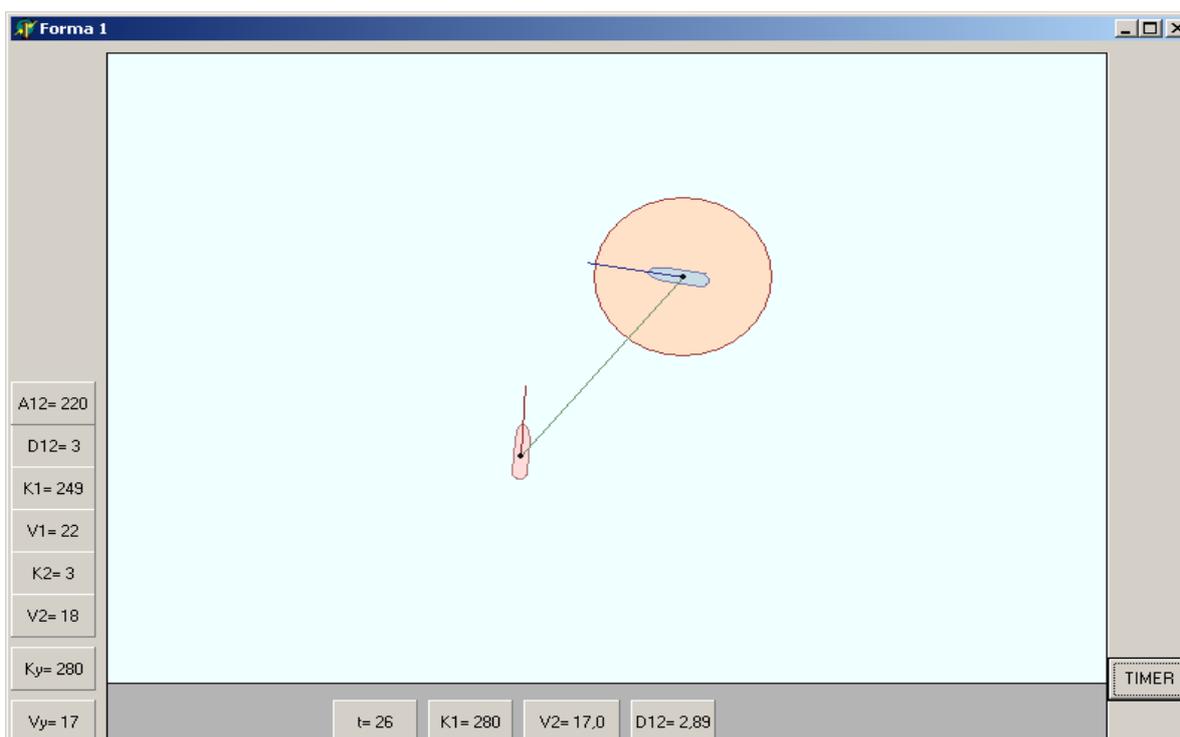


Рис. 5. Завершение торможения второго судна

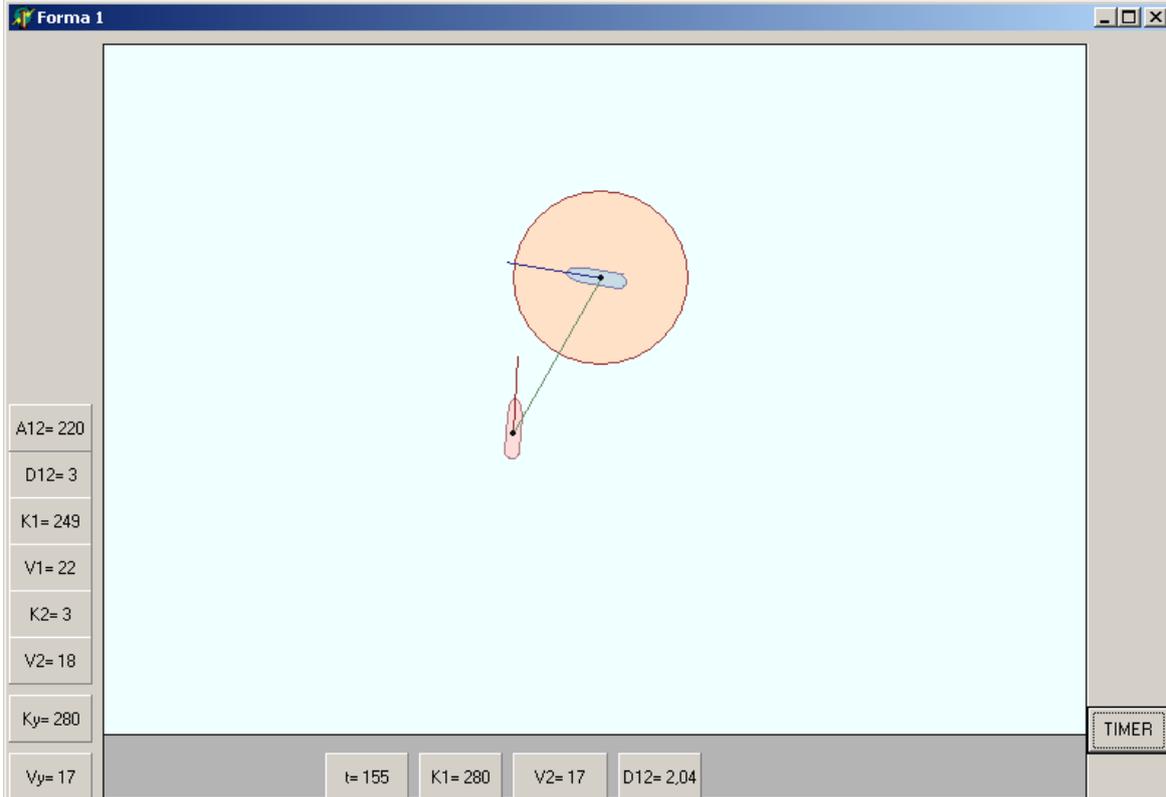


Рис. 6. Процесс расхождения на 155 секунде

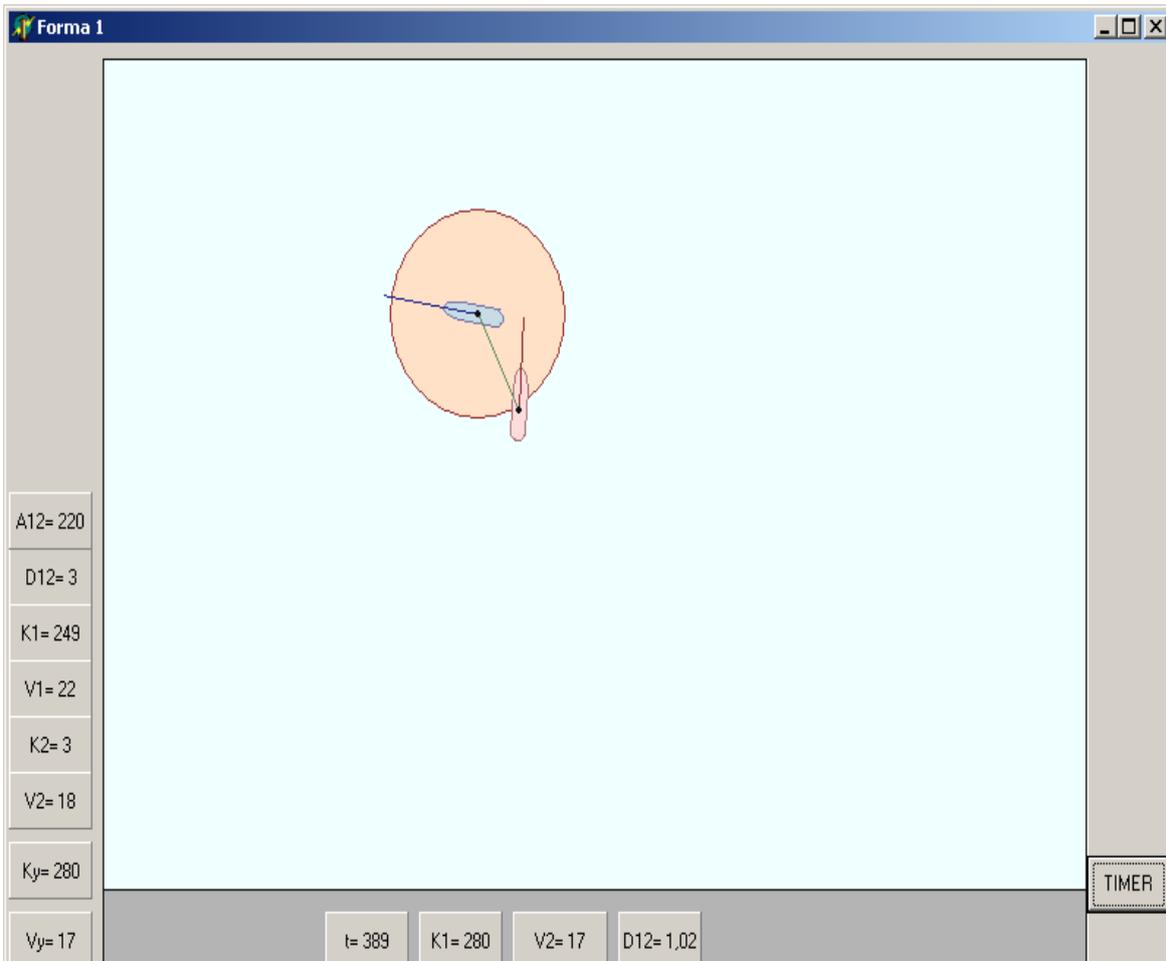


Рис. 7. Кратчайшее сближение судов

Выводы и предложения.

1. Предложен метод автоматического расчета параметров оптимальной стратегии расхождения судов одновременными изменениями курса одного судна и скорости другого судна.

2. Для заданной опасной ситуации сближения судов приведен пример выбора оптимальной стратегии их расхождения изменением курса одного судна и снижением скорости активным торможением другого судна.

3. С помощью имитационного моделирования рассчитанного маневра расхождения подтверждена корректность предложенного метода.

Список литературы:

1. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями/Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., Петриченко О.А. // *Austria - science*, Issue: 16, 2018.- С. 44-49.

2. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // *J. Navig.* 2008. 61, № 1, p. 129-142.

3. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety.* - 2005. – Gdańsk. – P. 71 - 78.

4. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

5. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der// *J. Navig.* 2007. 60, № 1, p. 17-31.

6. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

7. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

9. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

10. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // *Austria - science*, Issue: 16, 2018.- С. 38 - 44.

Біляєв Микола Миколайович

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Біляєва Вікторія Віталіївна

*кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос»,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

Берлов Олександр Вікторович

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Безпека життєдіяльності»,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

Козачина Віталій Анатолійович

*кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ПОЖЕЖІ НА АЗС

Biliaiev M.M.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Biliaieva V.V.

*PhD, Associate Professor of The Department «Aerohydrodynamics,
Energy and Mass Transfer »,
Oles Honchar Dnipro National University*

Berlov O.V.

ASSESSMENT OF THE RISK OF EMPLOYEES THERMAL HITTING DURING BURNING AT THE GAS STATION

Summary. The problem of assessing the risk of thermal hitting of employees in case of fire at the gas station is considered. The task is to develop a mathematical model that allows quickly determining the dynamics of temperature changes and, on this base, forecasting the risk of thermal injury to workers in work areas. The energy equation to calculate the dynamics of thermal air pollution during burning is used. An aerodynamic model of potential motion (Laplace equation for velocity potential) to calculate the airflow velocity field in building conditions is used.

Numerical integration of the equation for the velocity potential using the Richardson method and the conditional approximation method is carried out. Differential splitting schemes for numerical integration of the energy equation are used.

The computer program is developed on the basis of the constructed numerical model. The results of a computational experiment to determine the risk of thermal injury to workers in a fire at a gas station are presented.

Анотація. Розглядається задача оцінювання ризику термічного ураження працівників у випадку пожежі на АЗС. Ставиться задача розробки математичної моделі, що дозволяє швидко визначати динаміку зміни поля температури та прогнозування, на базі цієї інформації ризику термічного ураження працівників в робочих зонах. Для розрахунку динаміки теплового забруднення повітря при пожежі використовується рівняння енергії. Для розрахунку поля швидкості повітряного потоку в умовах забудови використовується аеродинамічна модель потенціального руху (рівняння Лапласа для потенціалу швидкості).

Чисельне інтегрування рівняння для потенціалу швидкості здійснюється за допомогою методу Річардсона та методу умовної апроксимації. Для чисельного інтегрування рівняння енергії використовуються різницеві схеми розщеплення.

Розроблена комп'ютерна програма на базі побудованої чисельної моделі. Представлені результати обчислювального експерименту по визначенню ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС.

Key words: numerical simulation; risk of thermal hitting; emergency burning; thermal air pollution.

Ключові слова: чисельне моделювання; ризик термічного ураження; аварійне горіння; теплове забруднення повітря

Постановка проблеми. Аварійні ситуації мають місце на різних промислових об'єктах та приводять до появи вражаючих факторів: концентрації небезпечних речовин, підвищення тиску при появі ударної хвилі тощо [1, 2, 5–9]. Прогнозування ризику ураження людей при аварійних ситуаціях відноситься до класу дуже

складних задач, тому що величина цього ризику залежить від багатьох факторів та різних сценаріїв аварій [1, 6, 10, 11]. Серед задач даного класу необхідно виділити окремо таку задачу, як термічне ураження людей на промислових майданчиках.



Рис. 1. Пожежа на АЗС

(<https://ukranews.com/ua/news/632576-na-zapravtsi-v-zhytomyri-spalahnula-serjozna-pozhezha-postrazhdaly-lyudy-i-zgorily-mashyny>)

Небезпека термічного ураження людей виникає при різних аварійних ситуаціях: пожежі на АЗС (рис. 1) при транспортуванні нафтопродуктів тощо. Це створює проблему адекватного визначення ризику такого ураження під впливом різних фізичних факторів, що оказують суттєвий вплив на формування полів температури, а саме: швидкість повітря, місце возгорання тощо. Температура повітря біля місця горіння може бути дуже високою. Рух повітряних мас приводить до формування зон термічного ураження на певній довжині від місця горіння. В цій зоні небезпеки можуть бути різні об'єкти, що мають соціальне значення.

Для оцінки ризику можливого термічного ураження людей потрібно розробляти спеціалізовані математичні моделі. Для практики дуже важливо мати математичні моделі, що дозволяють швидко розраховувати ризик термічного ураження працівників на комп'ютерах малої та середньої потужності.

Як відомо, для оцінки ризиків ураження працівників при надзвичайних ситуаціях, широко використовуються три класи моделей: емпіричні моделі, аналітичні моделі, чисельні моделі [1, 2, 8, 9]. Моделі кожного класу мають свої переваги та недоліки. Але, слід відзначити, що в наступний час існує дефіцит моделей, що дозволяють визначити техногенний ризик з урахуванням комплексу важливих фізичних факторів, що впливають на величину ризику (наприклад, врахування будівель та таке інше). Тому, створення таких спеціалізованих математичних моделей є важливою науковою задачею.

Мета. Побудова чисельної моделі для експрес оцінки ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС.

Математична модель. Ризик термічного ураження виникає при аварійному горінні, наприклад, нафтопродуктів. Вірогідність такої надзвичайної ситуації дуже велика на АЗС. В цьому випадку виникає важлива задача по оцінюванні ризику термічного ураження працівників з метою визначення небезпечних зон біля АЗС. Будемо враховувати, що якщо температура повітря в робочій зоні складає більш ніж 100°C, при якій має місце повна денатурація білка), то в цій точці робочої зони приймається, що ризик ураження дорівнює 100 %.

Для визначення динаміки формування полів температури в області інтересу будемо використовувати рівняння енергії [2,5,7]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \text{div}(a \cdot \text{grad}T), \quad (1)$$

де T – температура повітря; u, v – складові вектора руху повітряного потоку; $a = (a_x, a_y)$ – коефіцієнти температуропровідності; x_i, y_i – декартові координати; t – час.

Для моделюючого рівняння (1) використовуються такі граничні умови [7]:

1. На межі, де повітряний потік втікає: $T = T_{in}$,

де T_{in} – фонові температура.

2. На межі, де повітряний потік витікає: $T_{i+1,j} = T_{i,j}$,

де $T_{i+1,j}$ – температура в останній різницевій комірці; $T_{i,j}$ – температура в попередній комірці.

3. На поверхні об'єктів $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$.

Для рівняння (1) використовується така початкова умова ($t = 0$): $T = T_0$, де T_0 – температура повітря, там де має місце пожежа, в іншій частині розрахункової області температура дорівнює фоновій температурі.

Для врахування впливу різного роду перешкод (наприклад, будівлі) на формування поля швидкості повітряного потоку, а значить – поля температури будемо використовувати аеродинамічну модель потенціального руху. В цьому випадку, моделююче рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad (3)$$

де P – потенціал швидкості.

Граничні умови для рівняння (2) такі [2, 5]:

1. $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ – на твердих границях;

2. $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ – на межі входу потоку, V_n – відома швидкість повітря;

3. $P = \text{const}$ – на границі «виходу» потоку.

На базі рівняння (2) та залежностей (3) визначається поле швидкості повітряного потоку при наявності будівель та таке інше.

Чисельні моделі. Для чисельного рішення рівнянь (1), (2) використовуються кінцево-різницеві методи інтегрування. Чисельне інтегрування здійснюється на прямокутній різницевій сітці. На цієї сітці, температура повітря, потенціал швидкості повітряного потоку розраховується в центрах різницевих комірок. Компоненти вектора швидкості визначаються на сторонах різницевих комірок.

Для чисельного інтегрування (2) здійснимо його перетворення так

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}. \quad (4)$$

де t – фіктивний час.

Для чисельного інтегрування рівняння (2) використовуємо метод Річардсона. Розрахункова залежність в такому випадку має вигляд [3]

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \Delta t \frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \Delta t \frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{\Delta y^2}. \quad (5)$$

Процедура визначення потенціалу швидкості закінчується коли

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

де ε – мале число. Для початку розрахунку приймаємо $t = 0; P=0$.

Далі здійснюється розрахунок швидкості повітряного потоку

$$u_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x}, v_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y} \quad (6).$$

Для контролю розрахунку поля швидкості повітряного потоку, також паралельно проводилося чисельно інтегрування рівняння (4) за методом умовної апроксимації. В цьому випадку чисельне інтегрування здійснювалося в два етапи. Різницеви залежності на кожному етапі мають вигляд [4]

– на першому етапі:

$$\frac{P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - P_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right].$$

- на другому етапі:

$$\frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right].$$

Далі, визначались значення компонент швидкості повітряного потоку на базі залежностей (6).

Для рішення рівняння (1) здійснимо його розщеплення так:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (8)$$

Для інтегрування рівняння (7) ми використовуємо такі залежності [2, 5, 7]

$$\frac{\partial uT}{\partial x} = \frac{\partial u^+T}{\partial x} + \frac{\partial u^-T}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vT}{\partial y} = \frac{\partial v^+T}{\partial y} + \frac{\partial v^-T}{\partial y},$$

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}, u^- = \frac{u - |u|}{2},$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}, v^- = \frac{v - |v|}{2},$$

$$\frac{\partial u^+T}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ T_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ T_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ T^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^-T}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- T_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- T_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- T^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+T}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ T_{i,j} - v_{i,j}^+ T_{i,j-1}}{\Delta y} = L_y^+ T^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^-T}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- T_{i,j+1} - v_{i,j}^- T_{i,j}}{\Delta y} = L_y^- T^{n+1}.$$

Схема розщеплення для рівняння (7) має вигляд [2, 5, 7]:

– на першому кроці

$$\frac{T_{i,j}^k - T_{i,j}^n}{\Delta t} + L_x^+ T^k + L_y^+ T^k = 0; \quad (9)$$

– на другому кроці :

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^k}{\Delta t} + L_x^- T^{n+1} + L_y^- T^{n+1} = 0, \quad (10)$$

Для чисельного інтегрування рівняння (8) використовується метод Річардсона. Розрахункова залежність має вигляд:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \Delta t \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} a_x + \Delta t \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} a_y. \quad (11)$$

Невідоме значення температури T в кожному рівнянні визначається за явною формулою.

На базі побудованої чисельної моделі створена комп'ютерна програма «ТЕПЛО-2А». Для програмування використаний FORTRAN.

Результати. Нижче розглядається використання побудованої чисельної моделі для оцінювання ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС. Розглядається імовірна пожежа на АЗС фірми «АВІАС», що розташована на вул. Робоча (м. Дніпро) (рис.2). На рис. 2 показано місце імовірного загорання палива. На цьому рисунку також показано дві робочі зони біля АЗС. Розміри розрахункової області 90м*40м, швидкість вітру 8м/с; температура полум'я 1100⁰С. Полум'я на місці пожежі задається за допомогою маркерів. Ставиться задача визначення динаміки формування поля температур в області інтересу та оцінювання ризику термічного ураження працівників в робочих зонах, що розташовані біля місця пожежі.

На рис.3 – 4 показано зону термічного забруднення (ізотерми) для різних моментів часу після виникнення пожежі на АЗС.



1- місце пожежі; 2 – робоча зона №1; 3 – робоча зона №2
 Рис. 2 Схема розрахункової області (Google image, 2020)

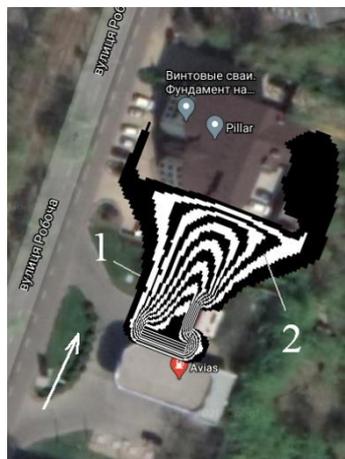


Рис. 3 Зона теплового забруднення, $t=6s$:
 1 – $T=1100C$, 2 – $T=2500C$



Рисунок 4 Зона теплового забруднення, $t=10s$:
 1 – $T=6970C$, 2 – $T=4030C$

Як ми бачимо з наведених рисунків, при виникненні пожежі на АЗС, зона термічного забруднення дуже швидко поширюється, та на промислових майданчиках, що розташовані біля місця пожежі, виникають області з дуже високою температурою, тобто ризик термічного ураження є вкрай високим. Слід звернути увагу на те, що на

формування зони теплового забруднення впливають об'єкти, що розташовані біля АЗС. Це проявляється в деформації поля ізотерм в розрахунковій області.

На рис. 5 та 6 показано, як швидко змінюється значення температури повітря на промислових майданчиках в двох робочих зонах.

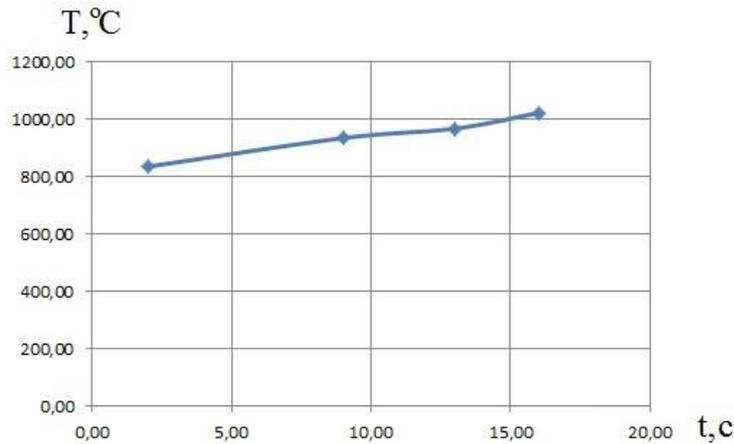


Рисунок 5 Зміна температури в робочій зоні №1

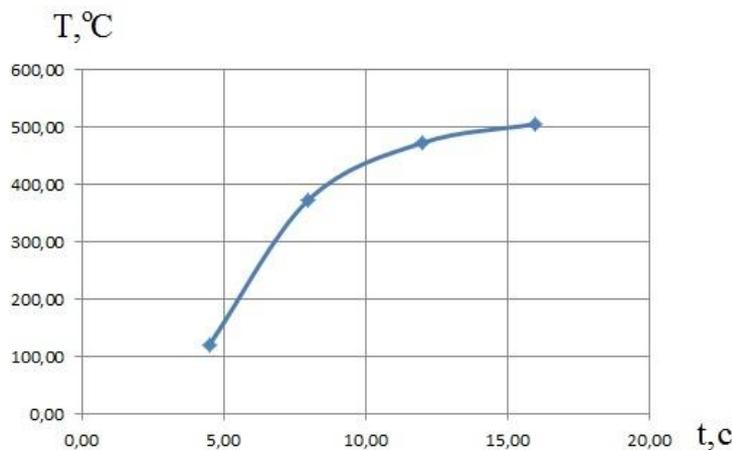


Рисунок 6 Зміна температури в робочій зоні №2

Якщо прийняти, що ризик термічного ураження виникає, коли температура перевищує повітря біля $T = 100^{\circ}\text{C}$, то, як ми бачимо з рис. 5, 6, термічне ураження працівників в робочій зоні №1 буде через 2с, а в робочій зоні №2 – через 5с.

Відзначимо, що розрахунок на ПК триває 5с.

В подальшому, планується розробка тривимірної моделі оцінки ризику термічного ураження працівників.

Список використаних джерел

1. Алымов В. Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д. : «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
3. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. – 618 с.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.

6. Anthony Michael Barret. “Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness. Dissertation”(Pittsburg, Pennsylvania, USA), 2009. – 123p.

7. Biliaiev M. “Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography”, Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer).2012, – P. 87-91.

8. Chan W.R., Nazaroff W.W., Price P.N., Gadgil A.J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008. 31 p. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.

9. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software, Quality of Life, 9, 2018. – pp. 38-45.

10. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen and Michael M. Bradley (2007), “The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency

Preparedness and Response” (Int. J. Emergency Management), no. 3, vol. 4, pp. 1-32.

11. Lacombe J.-M., Truchot D., Duplantier S., Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation, 18th International Conference on

Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 2017. – pp. 1-5.

12. Multi-Objective Optimization Model of Emergency Organization Allocation for Sustainable Disaster Supply Chain / Cejun Cao and others. 2017. Vol. 9. – Iss.11. doi: 10.3390/su9112103

УДК 621.311.1

Borovyk Yuriy Mykhailovich
Engineer
Institute of Electrodynamics

TRANSMISSION LINES IN AN EMERGENCY CONDITION

Боровик Юрій Михайлович
інженер
Інститут електродинамики

ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Abstract. The accident rate of overhead lines is most often characterized by a specific number of emergency shutdowns and damage. Damage is considered to be such emergency shutdowns that are not eliminated by automatic reclosing (APV) and are accompanied by emergency downtime. The article considers emergency shutdowns, damage, and factors that affect them.

Анотація. Аварійність повітряних ліній найчастіше характеризують питомим числом аварійних відключень і пошкоджень. При цьому пошкодженнями вважають такі аварійні відключення які не ліквідуються автоматичним повторним включенням (АПВ) і супроводжуються аварійним простоєм. В статті розглянуті аварійні відключення і пошкодження та фактори, що на них впливають.

Key words: power lines, APV, reliability of work, weather conditions

Ключевые слова: линии электропередачи, ав, надійність роботи, метеоумови

Аварійність повітряних ліній найчастіше характеризують питомим числом аварійних відключень і пошкоджень. При цьому пошкодженнями вважають такі аварійні відключення які не ліквідуються автоматичним повторним включенням (АПВ) і супроводжуються аварійним простоєм.

Оцінка надійності повітряної лінії електропередачі в основному режимі її роботи, нормальному експлуатаційному, полегшується якщо вважати що значна частина загального числа аварійних відключень і пошкоджень в цьому режимі провокують метеоумови. На метеоумови приходить 70% аварійних відключень ліній електропередач.

При експлуатації ліній на ізоляцію різних елементів впливає довготривала робоча напруга, а також короткострокові зовнішні і внутрішні перенапруги. Із зовнішніх перенапруг велике значення мають перенапруги при ударах лінійної блискавки, із внутрішніх перенапруг – резонансні перенапруги та комутаційні перенапруги. Внаслідок цих перенапруг ізоляція або пошкоджується зразу, або виходить з ладу раніше гарантованого терміну експлуатації.

Елементи ліній електропередач безупинно піддаються впливу випадкових факторів, які можна розділити на наступні дві групи:

- фактори, що приводять до аномальних ситуацій в енергосистемі.

- фактори, що не приводять до порушення нормального режиму роботи енергосистеми.

До першої групи відносяться:

- відмови устаткування;
- неправильна робота автоматики й релейного захисту;
- стихійні фактори (вітер, гроза, ожеледь);
- короткі замикання;
- помилки персоналу.
- випадковий характер зміни навантаження;
- метеорологічні фактори (температура, вологість, вітер);
- погрішності виміру вихідних даних;
- погрішності математичних моделей і помилки значень параметрів цих моделей;
- погрішності методів розрахунку (незавершеність ітераційних процесів і помилки округлення);
- помилки реалізації рішень при керуванні режимами.

Традиційні розрахунки режимних параметрів безструмової паузи ОАПВ не враховують випадкового характеру діючих факторів й використовують в якості вихідних даних одну з можливих реалізацій, що з інженерної точки зору видається найбільш правдоподібною. При цьому має місце проблема оцінки погрішності результатів розрахунків, та ефективності засобів для яких дані розрахунки проводяться. Необхідно робити певні допуски й резервувати керуючі впливи, величина яких, визначається тільки на основі досвіду та

інтуїції і, зазвичай, супроводжується значною перестраховкою, а значить, і неефективним використанням наявних засобів.

Знання похибок результатів дозволяє вирішити проблему резервування більш обґрунтовано. Слід відзначити, що врахування випадкових факторів потрібне не тільки при проектуванні або плануванні роботи енергосистеми, електромережі, ЛЕП НВН, але й при оперативному диспетчерському керуванні (у темпі процесу).[1]

Режимними параметрами енергосистеми є потужності у вузлах і вітках схеми мережі, модулі й фази напруг і струмів та ін. Режимні параметри можуть бути як вихідними даними (безпосередньо виміряні чи отримані в результаті процедури оцінювання), так і підлягати розрахунку. Параметри енергосистеми - це фактичні параметри моделі енергосистеми (топологія схеми мережі, опір, провідність, а також активні параметри стану). Визначальні параметри безструмової паузи ОАПВ, що характеризують її особливості, – це відновлювальна напруга та струм дуги підживлення, які можуть бути отримані на основі параметрів моделі енергосистеми в безструмову паузу ОАПВ. Таким чином, отримати основні характеристики ефективності ОАПВ, а також оцінити ефективність методів обмеження резонансних режимних параметрів можна на основі: топології моделі; параметрів моделі енергосистеми та режимних параметрів.[2].

Режимні параметри, що є вихідними даними, вимірюються вимірювальними приладами, а параметри системи звичайно не можуть бути прямо обмірювані й підлягають обчисленню через довідкові й каталожні дані або ідентифікації. Режимні параметри мають погрішності виміру й передачі даних. У процесі керування електричними режимами енергетичних об'єктів застосовуються схеми заміщення, у яких використовуються параметри основного устаткування. Для складання схем заміщення використовуються паспортні дані ліній електропередачі, трансформаторів і автотрансформаторів, які містять похибки. При розрахунку параметрів схеми заміщення можуть також виникати погрішності, пов'язані з людським фактором. У результаті отримана модель енергосистеми представляє фізичний об'єкт у спотвореному вигляді з неприпустимими погрішностями.

Широке поширення цифрових реєстраторів в сучасних енергосистемах дозволяє вимірювати параметри нормального й аварійного режиму на

якісно новому рівні. Такі дані дозволяють забезпечити адаптивну ідентифікацію параметрів основного устаткування при різних режимах роботи. Для динамічного процесу уточнення параметрів моделі потрібна значна кількість не тільки оперативної, але й ретроспективної інформації про процеси у фізичному об'єкті. Тому необхідно створити й упорядковано зберігати архіви інформації, які реалізовані у вигляді інформаційної бази даних по технологічних порушеннях, які спостерігались на даному об'єкті. У базі даних повинна бути відбита історія всіх процесів, зафіксовані струми й напруги в лініях, конфігурації мережі на момент аварії та інше.

Використання зазначених принципів у сукупності з моделлю енергосистеми й бази даних по технологічних порушеннях дає можливість відчутного ефекту наближення параметрів моделі енергосистеми та параметрів реального фізичного об'єкта, що дозволяє зменшити невизначеність керуючих впливів, а значить спричиняє підвищення надійності енергосистеми в цілому.

Висновки

1. Експлуатація ліній надвисокої напруги в умовах надзвичайної ситуації має велике наукове і практичне значення, так як дозволяє перевірити надійність всієї різноманітності експлуатаційних режимів та відповідності теоретичного аналізу та моделювання. Промислове використання ЛЕП НВН в умовах надзвичайної ситуації є активним експериментом поставленим в масштабі мережі ОЕС України. Підвищений інтерес виникає зв'язку з дослідженнями надійності передачі потужності по ПЛ НВН.

2. Більша частина відключень ЛЕП НВН зв'язана з дуговими замиканнями шляхи зменшення яких необхідно знаходити.

3. Для зменшення кількості дугових замикань і підвищення надійності роботи ЛЕП НВН необхідно використовувати надійне реакторне обладнання і засоби релейного захисту.

Література

1. Н.Н. Беляков, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн и др., «Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений» - Москва: Энергоатомиздат, 1991. - 256с.
2. Wei Shi, Fan Li, Yanhua Han, Yunge Li.: The Effect of Ground Resistance on Secondary Arc Current on an EHV Transmission Line. IEEE Transactions on Power Delivery, vol.20. No.2. April 2005.

*Hushchin Kostiantyn Vitaliiovych**junior researcher**Ziakhor Ihor Vasyliovych**Ph.D., deputy head of department**Samotriasov Serhii Mykhailovych**deputy head of department**Zavertannyi Myroslav Sergiiovych**junior researcher**Department of butt welding, E.O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine – Kyiv, Ukraine***FORMATION OF 2219-T87 ALUMINIUM ALLOY FLASH BUTT WELDING JOINTS***Гущин Константин Витальевич**младший научный сотрудник**Зяхор Игорь Васильевич**к.т.н., заместитель заведующего отделом**Самотрясов Сергей Михайлович**заместитель заведующего отделом**Завертанный Мирослав Сергеевич**младший научный сотрудник**Отдел стыковой сварки,**Институт электросварки им. Е.О.Патона**НАН Украины – Киев, Украина***ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2219-T87
ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ ОПЛАВЛЕНИЕМ**

Abstract. Ensuring satisfactory strength indicators when welding thermomechanically hardened aluminum alloys is an urgent problem in the manufacture of aircraft structures. In the present work conditions of flash butt welding joints formation of 2219-T87 aluminum alloy studied. It is established that resistance preheating of samples to be welded to the temperature 200°C with subsequent flashing process up to 15 s duration, and upsetting with forced formation at the pressure value at least 500 MPa, ensure a defect-free welded joints. The strength values of welded joints are 76% base metal level without postweld heat treatment. Analysis of the microstructure indicates the formation of welded joints through a thin melted layer and a significant effect of severe plastic deformation during upsetting on the morphology change of the secondary phase particles of the 2219-T87 alloy.

Аннотация. Обеспечение удовлетворительных показателей прочности при сварке термомеханически упрочненных алюминиевых сплавов является актуальной проблемой при изготовлении конструкций летательных аппаратов. В настоящей работе исследовали условия формирования соединений алюминиевого сплава 2219-T87 при контактной стыковой сварке оплавлением. Установлено, что предварительный нагрев сопротивлением свариваемых образцов до температуры 200 °С с последующим оплавлением на протяжении 15 с и осадкой с принудительным формированием при значении давления не ниже 500 МПа, обеспечивают качественное соединение без дефектов. Предел прочности соединений сплава 2219-T87, полученных по разработанной технологии КССО без последующей термической обработки, составляет 76% уровня основного металла. Анализ микроструктуры свидетельствует о формировании сварных соединений через тонкий слой расплава и о существенном влиянии интенсивной пластической деформации при осадке на изменение морфологии частиц вторичных фаз сплава 2219-T87.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка оплавлением, формирование соединений, алюминиевый сплав, механические свойства.

Key words: flash butt welding, joint formation, aluminum alloy, mechanical properties.

Введение

Дисперсионно-твердеющие алюминиевые сплавы системы Al-Cu-Mn благодаря высокой удельной прочности широко используются в конструкции изделий космической и авиационной техники, в частности изделий криогенного назначения – топливных баков ракет, оболочки фюзеляжа и несущих элементов конструкции самолетов [1-3]. Алюминиевый сплав 2219 является

наилучшим выбором среди дисперсионно-твердеющих сплавов при изготовлении баков для ракетного топлива длительного хранения в наземных условиях и баков для криогенного ракетного топлива мобильных пусковых установок. Для достижения максимального уровня прочности сплав 2219 поставляется в термомеханически упрочненном состоянии Т87, которое достигается термообработкой на твердый раствор,

деформационным упрочнением со степенью деформации 7% и последующим искусственным старением [4, 5].

При изготовлении изделий авиационной и космической техники из сплава 2219-T87 используют различные способы сварки (электронно-лучевую, дуговую [6], трением [7,8], контактную стыковую оплавлением [9, 10]), отличающихся термическим воздействием на металл шва, влияющим на эксплуатационные характеристики сварной конструкции. Минимизировать разупрочнение сплава можно при условии, если длительность нагрева до температур выше критических (приводящих к неблагоприятным структурным превращениям) не превышает определённых пределов [4]. Такой температурный цикл при сварке проблематично обеспечить вследствие высокой теплопроводности алюминиевых сплавов. Например, соединения, выполненные аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (TIG) и сваркой трением с перемешиванием (FSW), имеют предел прочности на уровне 0,6... 0,65 от уровня показателей основного металла сплава 2219-T87 [6-8].

Кроме того, термический цикл сварки изделий из сплава 2219-T87 может снижать коррозионную стойкость соединений вследствие коагуляции (укрупнения) частиц упрочняющей фазы CuAl_2 по границам зерен в зоне термического влияния шва и соответствующего локального снижения концентрации легирующих элементов в этих участках. Высокотемпературная термическая обработка изделия после сварки позволяет в значительной степени восстановить структуру и механические свойства шва, однако при производстве крупногабаритных конструкций является трудноосуществимой задачей. Поэтому актуальной проблемой является разработка

технологий сварки изделий из термомеханически упрочненных сплавов, обеспечивающих без последующей высокотемпературной термической обработки соединений, уровень прочности, удовлетворяющий разработчиков изделий космической и авиационной техники.

Перспективным процессом изготовления продольного (стрингер-фитинг) и поперечного (обечайки, шпангоуты) силового набора летательных аппаратов является контактная стыковая сварка оплавлением (КССО). Этот способ сварки давлением обеспечивает высокое стабильное качество соединений, объединяет в едином цикле сборочные и сварочные операции, не требует применения вспомогательных расходных материалов [9, 10]. При условии выполнения термической обработки, показатели прочности соединений, выполненных КССО, достигают 100% от уровня основного металла алюминиевых сплавов.

Цель работы состояла в изучении формирования соединений прессованных профилей из сплава 2219-T87 при контактной стыковой сварке оплавлением без последующей термической обработки, определение уровня разупрочнения сплава в зависимости от режима сварки.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на образцах сечением 60×15 мм длиной 200 мм, вырезанных из прессованных профилей сплава 2219-T87 вдоль направления проката. Химический состав исследуемого сплава приведен в табл. 1.

Опытные сварки проводили на лабораторной сварочной машине K607, оборудованной сварочным трансформатором мощностью 75 кВА и приводом осадки, обеспечивающим создание осевого усилия до 1000 кН.

Таблица 1

Химический состав сплава 2219 [4,5]

Элемент	Al	Cu	Mn	Mg	Si	Zr	V	Zn	Fe	Ti
содержание, %	осн.	5,8-6,8	0,2-0,4	<0,2	<0,2	0,1-0,25	0,05-0,15	<0,1	<0,3	0,02-0,1

Макроструктуру соединений оценивали визуальным осмотром с использованием лупы Levenhuk Zeno Multi ML7 при увеличении $\times 3 \dots 10$. Металлографические исследования проводили на шлифах, вырезанных поперек сварного стыка, с использованием оптического микроскопа Neophot-32 при увеличении $\times 25$, $\times 100$, $\times 400$. Подготовку поверхности шлифов проводили на шлифовально-полировальном станке Struers LaboPol-5. Для выявления зеренной структуры образцов полированную поверхность травили в реактиве Келлера ($0,5\text{HF}-1,8\text{HCl}-2,7\text{HNO}_3-95\text{H}_2\text{O}$ (об. %)) и 0,5%-ном водном растворе плавиковой кислоты. Исследование распределения твердости HRB в зоне соединений проводили при помощи стационарного твердомера NOVOTEST TC-БВР при нагрузке 600 Н (диаметр шарика $1/16''$) с шагом 1...2 мм,

испытания образцов сварных соединений на растяжение – на машине ЦДМ-10 с максимальным усилием 100 кН.

В процессе отработки режимов сварки проводился «экспресс-анализ» качества сварных соединений – загиб образцов с надрезом по линии соединения до разрушения. Качество соединений оценивали по наличию (отсутствию) дефектов типа оксидных плёнок при визуальном осмотре изломов разрушенного образца. При отработке режимов КССО стремились минимизировать время сварки с целью уменьшения разупрочнения металла. По такой методике определены режимы КССО, которые обеспечивают отсутствие дефектов по линии соединения.

Результаты исследований.

Процесс сварки КССО образцов сплава 2219-

Т87 включал в себя несколько стадий: предварительный подогрев сопротивлением, оплавление, осадку. Обязательным условием получения качественных соединений из алюминиевых сплавов при КССО является принудительное формирование стыка, при этом ширина зоны интенсивной деформации практически равна припуску на осадку. Степень деформации деталей 1 (рис. 1) в зоне соединения увеличивается в процессе осадки по мере

сближения формирующих устройств 2, установленных в токоподводящих зажимах 3 сварочной машины. С помощью формирующих устройств создают объемно-напряженное состояние в стыке для исключения расслоения свариваемого металла и обеспечивают удаление образующегося при сварке грата 4, в результате чего сварное изделие практически не нуждается в механической зачистке.

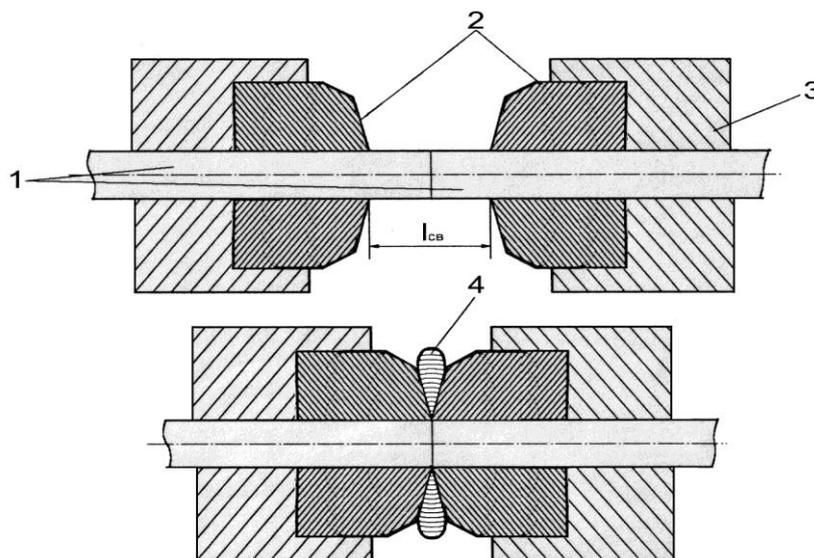


Рисунок 1 - Схема КССО с формированием соединения: 1 - детали; 2 - формирующие устройства; 3 - токоподвод; 4 - грат, $l_{св}$ – припуск на сварку

Для обеспечения требуемого температурного поля для проведения процесса осадки при КССО с принудительным формированием стыка проводили предварительный подогрев образцов сопротивлением (проходящим током) при значении тока до $I_{2под}=20$ кА. Максимальную температуру подогрева задавали равной $T_{под}=200$ °С, поскольку нагрев до данной температуры не приводит к снижению прочности сплава 2219-T87. Дальнейшее повышение температуры приводит к активному протеканию процессов возврата и рекристаллизации, а также коагуляции и укрупнению упрочняющих фаз [11].

В процессе отработки режима КССО по методике «экспресс-анализа» корректировали значения припусков на оплавление и осадку до тех

пор, пока в изломах соединений отсутствовали недопустимые дефекты, в частности оксидные пленки (рис. 2). Оптимальные температурные условия деформации при осадке определяли из условий горячего прессования сплава [12]. При условии равенства пределов текучести и прочности свариваемого сплава в зоне деформации создаются оптимальные условия формирования соединения при осадке. В данном случае обеспечивается получение сварных соединений с минимальным уровнем внутренних напряжений при отсутствии микротрещин и других дефектов. Для получения качественных соединений сплава 2219-T87 необходимо обеспечить нагрев оплавлением зоны пластической деформации до температуры не менее 400 °С.

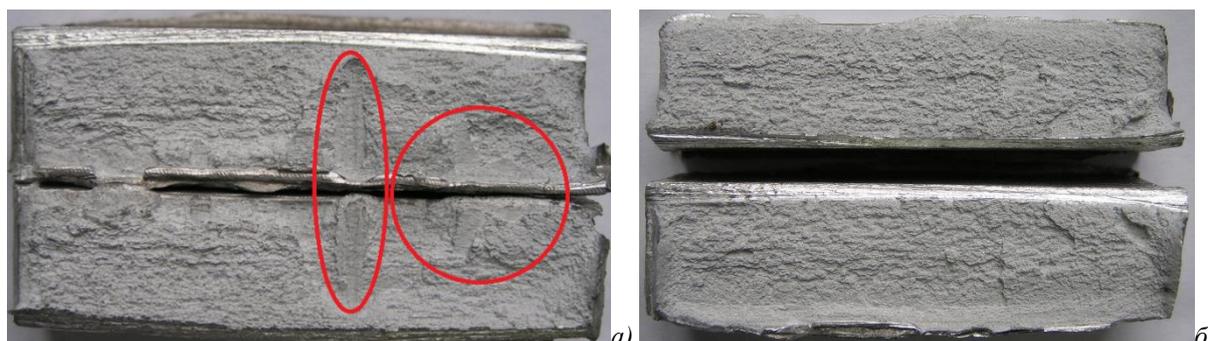


Рисунок 2 - Изломы сварного соединения: а - с дефектами (оксидные пленки), б - без видимых дефектов

По результатам экспериментов параметры процесса оплавления устанавливали в пределах: вторичное напряжение $U_{2\text{опл}}=5...6$ В, скорость оплавления $V_{\text{опл}}=2...18$ мм/с; параметры осадки – максимальная скорость $V_{\text{ос}}=180...250$ мм/с, давление $P_{\text{ос}}=300...600$ МПа, при этом общий припуск на оплавление и осадку изменяли в пределах $l_{\text{св}}=40...60$ мм.

Установлено, что предварительный нагрев сопротивлением образцов до $T_{\text{под}}=200$ °С с последующим оплавлением на протяжении 15 с и осадкой при значении давления не ниже 500 МПа обеспечивают формирование качественного

сварного соединения без каких-либо дефектов (рис. 2, б).

Результаты исследований структуры основного металла (ОМ), макро- и микроструктуры сварных соединений приведены на рис. 3–5. Микроструктура основного металла сплава 2219-T87 (рис. 3) характеризуется выраженной текстурой с деформированными в направлении проката зернами и большим количеством вторичных фаз различной дисперсности, расположенных в виде «цепочек» на отдельных участках, преимущественно по границам зерен, и более равномерно внутри зерен.

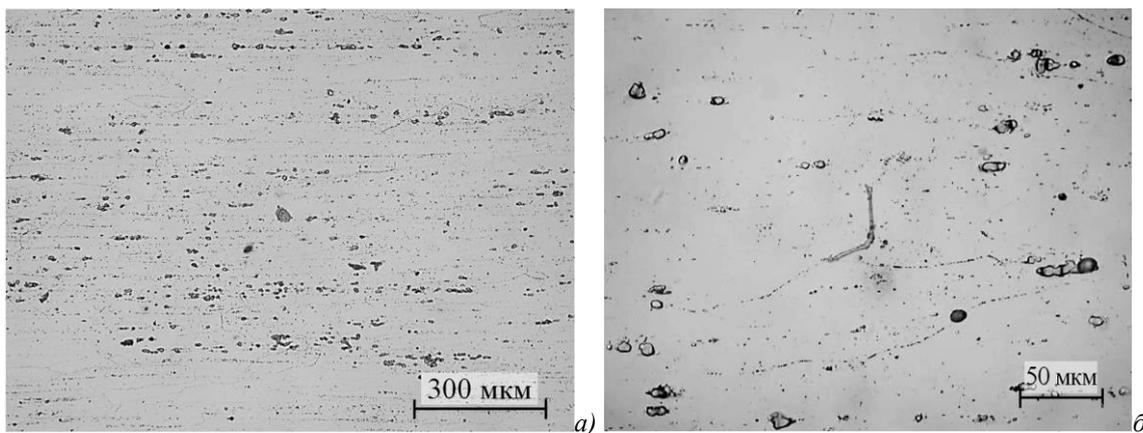


Рисунок 3 – Микроструктура основного металла сплава 2219-T87

По мере приближения к линии соединения наблюдается изменение ориентации зерен, причем направление волокон проката в зоне термомеханического влияния постепенно меняется до 90° по сравнению с исходным направлением зерен ОМ и совпадает с направлением экструзии металла в процессе деформации при осадке (рис. 4). В результате экструзии металла в зазор между формирующими устройствами происходит

частичное растворение выделений вторичных фаз – их размер уменьшается, скопления в виде «цепочек» частично разрушаются, частицы становятся обособленными. Такая структура свидетельствует о существенном влиянии интенсивной пластической деформации при осадке с принудительным формированием на морфологию выделений вторичных фаз.

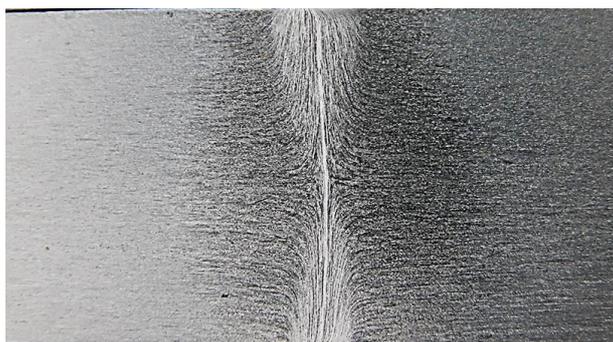


Рисунок 4 - Макроструктура сварного соединения

В сварном соединении отсутствуют дефекты типа оксидных пленок, расслоений, эвтектических образований, а в зоне термического влияния не наблюдаются скопления частиц вторичных фаз по границам зерен, снижающих коррозионную стойкость соединений (рис. 5,а). Размер частиц

вторичных фаз в центре стыка (зона шириной $150...200$ мкм) составляет $1...2$ мкм (рис. 5,б), что значительно меньше такого для ОМ сплава, и свидетельствует о полном растворении частиц при сварке и повторном их выделении в дисперсном виде при охлаждении.

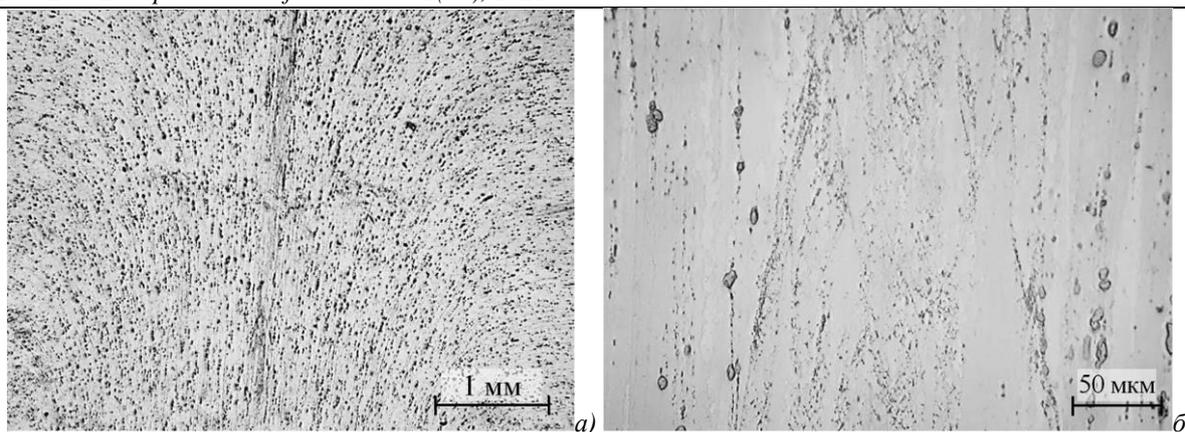
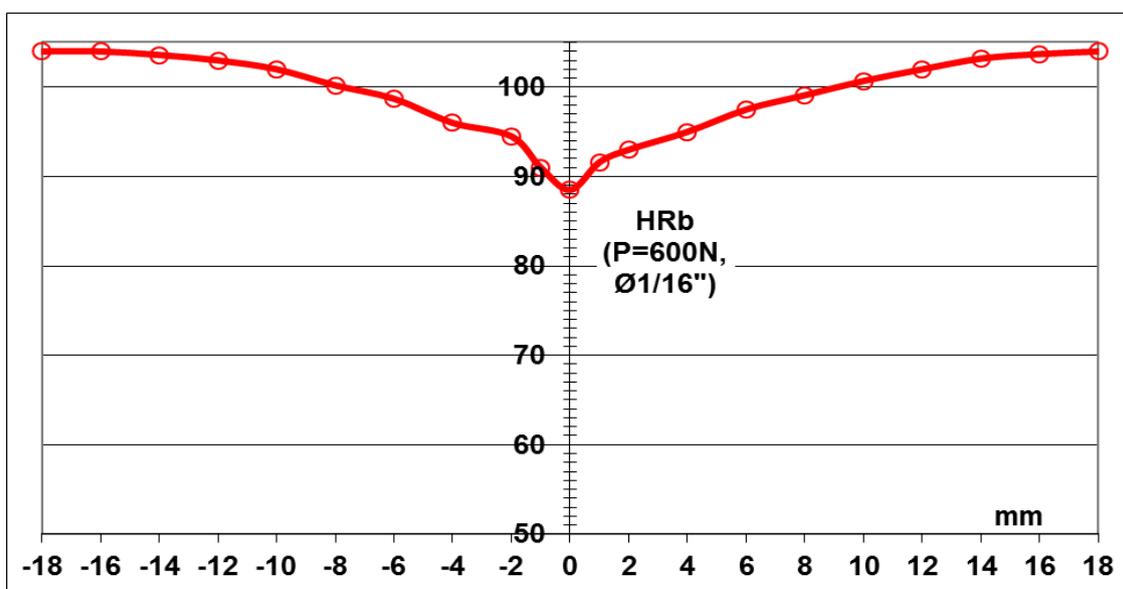


Рисунок 5 - Микроструктура сварного соединения

Анализ микроструктуры соединения подтверждает формирование соединения через тонкий слой расплава, что является необходимым условием качественной сварки алюминиевых сплавов.

Характер распределения твердости в зоне соединения (рис. 6) показывает, что ширина зоны

термического влияния составляет около 28 мм, а максимальная величина снижения твердости не превышает 15%. Снижение твердости обусловлено структурными преобразованиями в зоне соединения сплава 2219-T87 под влиянием термического и деформационного воздействия в процессе сварки.

Рисунок 6 - Распределение твердости ($P=600$ Н) в зоне сварного соединения

Результаты испытаний на разрыв образцов основного металла (ОМ) и сварных соединений (СС) сплава 2219-T87 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели механических свойств основного металла и сварных соединений сплава 2219-T87

Образец	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	Угол загиба α^0	KCV, Дж/см ² ($T=20^0C$)	Коэф. Прочн. $\sigma_{B\text{ СС}}/\sigma_{B\text{ ОМ}}$
ОМ	486	413	10,9	37	13,9	-
СС	372	263	4,3	33	16,6	0,76

Предел прочности соединений, полученных по разработанной технологии КССО без последующей термической обработки, составляет 76% уровня основного металла.

Выводы:

1. Установлено, что предварительный нагрев сопротивлением образцов сплава 2219-T87 до

температуры 200 °С с последующим оплавлением на протяжении 15 с и осадкой с принудительным формированием при значении давления не ниже 500 МПа, обеспечивают формирование качественных соединений без дефектов.

2. Микроструктура металла в зоне соединения свидетельствует о существенном влиянии

интенсивной пластической деформации при осадке с принудительным формированием на морфологию выделений вторичных фаз. В результате экструзии металла в зазор между формирующими устройствами происходит частичное растворение частиц вторичных фаз – их размер уменьшается, скопления в виде «цепочек» частично разрушаются.

3. Предел прочности соединений сплава 2219-T87, полученных по разработанной технологии КССО, составляет 76% уровня основного металла.

Литература:

1. Гуреева М.А., Грушко О.Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Конструкционные материалы. 2009. С.27-41.

2. Aviation maintenance technician handbook - Airframe Volume 1 - U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration Flight Standards Service, Oklahoma City -2018. URL: <http://www.faa.gov>

3. Davis J.R. Aluminum and aluminum alloys // ASM Speciality Handbook, ASM International; 1993.

4. ASTM B209: Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. URL: <https://www.astm.org/Standards/B209.htm>

5. Aluminum Standards and Data / Aluminum Association Inc., 2013. URL: <https://www.aluminum.org/news/aluminum-association-completes-2013-edition-aluminum-standards-and-data>

6. Santhana Babu A.V., Giridharan P.K., Ramesh Narayanan P. et al. Experimental investigations on tensile strength of flux bounded tig welds of AA2219-T87 aluminum alloy // Journal of advanced manufacturing systems. 2014. Vol. 13, № 2. P.103–112. <https://doi.org/10.1142/S0219686714500073>

7. Arora K.S., Pandey S., Schaper M., Kumar R. Effect of process parameters on friction stir welding of aluminum alloy 2219-T87 // International journal of advanced manufacturing technology. 2010. 50(9). P.941-952 <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2560-3>

8. Du Y., Li H., Yang L., Luo C. Accurate measurement of residual stresses of 2219-T87 aluminum alloy friction stir welding joints based on properties of joints // Journal of Mechanical Science and Technology. 2018. Vol. 32(1). P.139-147. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1215-9>.

9. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением. Киев: Наук. думка; 1992.

10. Barbosa C., Dille J., Delplancke J.-L. et al. A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys // Materials Characterization. 2006. Vol. 57. Issue 3. P.187–192. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2006.01.002>

11. Shanmugasundaram T., Murty B.S., Sarma V.S. Development of ultrafine grained high strength Al–Cu alloy by cryorolling // Scripta Materialia. 2006. Vol. 54. Issue 12. P.2013-2017. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.03.012>

12. Щерба В.Н. Прессование алюминиевых сплавов. М: «Интернет Инжиниринг»; 2001.

УДК 004.9
ГРНТИ 20.01.07

Жукова Татьяна Ивановна

кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное учреждение

"Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление"

Российской академии наук"

Россия г. Москва

ЦИФРОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ ¹

Аннотация. В статье проанализирована логика возникновения архитектуры цифровых экосистем как природоподобной технологии, позволяющей решить ключевую задачу проектирования и обслуживания эффективных вычислительных сред путем автоматизации поиска новых алгоритмов. Рассматривается преемственность основных элементов и принципов существования экосистем и их цифровых аналогов. Проанализирована смена парадигмы функционирования бизнеса от линейных цепочек создания стоимости к цифровым экосистемам.

Abstract. The article analyzes the logic of the emergence of the architecture of digital ecosystems as a nature-like technology that allows to solve the key problem of designing and maintaining efficient computing environments by automating the search for new algorithms. The continuity of the main elements and principles of the existence of ecosystems and their digital analogues is considered. The paradigm shift of business functioning from linear value chains to digital ecosystems is analyzed.

Ключевые слова: цифровые экосистемы, цифровая экономика, коллаборативная среда, природоподобные технологии.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №17-29-07048 офи_м)

Вступление

Цифровые экосистемы выходят за рамки традиционных, строго определенных сред совместной работы, отражая движение от централизованных, распределенных или гибридных моделей до открытой, гибкой, управляемой потребностями интерактивной среды. Цифровая экосистема - это новое поколение сетевой архитектуры и коллаборативной среды, устраняющее слабые места клиент-серверных, одноранговых, сетевых и веб-сервисов [1].

В научной литературе распространен подход, согласно которому исследователи рассматривают **цифровые экосистемы** как цифровые аналоги биологических экосистем, архитектура которых считается надежной, самоорганизующейся и масштабируемой, способной автоматически решать сложные динамические проблемы, т.е. обладающие экосистемно-ориентированной архитектурой. Считается, что имитация экосистем порождает новое поколение информационных систем, позволяющих решить ключевую задачу проектирования и обслуживания эффективных вычислительных сред путем автоматизации поиска новых алгоритмов [2; 3; 4].

В настоящее время эта задача выполняется программистами вручную, и было высказано мнение [5], что современные методы разработки программного обеспечения натолкнулись на стену сложности, которую можно преодолеть только путем использования автоматизированной композиции сервисов [6; 7; 8], наиболее распространенными из которых являются сервис-ориентированные архитектуры (Service Oriented Architectures) и связанные с ними стандарты и технологии [9].

С другой стороны, природа занимается исследованиями проблемы в течение 3,8 миллиардов лет и за это время накопила около 30 миллионов хорошо адаптированных решений для множества задач проектирования, которые человечество пытается решить с неоднозначными результатами. Биомимикрия - это дисциплина, которая ищет решения, подражающие природным замыслам и процессам, ищущая возможность узнать гениально простые природные решения сложнейших техногенных проблем. Такие свойства биологических экосистем как самоорганизация, самоуправление, масштабируемость, способность вырабатывать комплексные решения и автоматизированную схему этих сложных решений лежат в основе сложной и разнообразной адаптации живых организмов в биологических экосистемах, и могут быть критически эффективными в процессе создания искусственных цифровых экосистем, который можно ускорить и оптимизировать за счет дополнений, эквивалентных природным процессам.

Степень, в которой отдельные цифровые экосистемы (ЦЭ) используют достижения биологических экосистем, варьируется, и часто слово «экосистема» используется просто в целях

брендинга без каких-либо присущих им экологических свойств. Однако, безусловно одно: использование природоподобных технологий приводит к получению неоспоримых конкурентных преимуществ за счет имитации основных системообразующих свойств: надежности, масштабируемости и самоорганизации. Возможные связи между цифровыми экосистемами и их биологическими аналогами еще предстоит тщательно изучать, поскольку существует неоспоримый потенциал для создания экосистемно-ориентированной архитектуры с основными элементами биологических экосистем.

Преимственность основных элементов и принципов существования экосистем и их цифровых аналогов.

Два основных элемента экосистем – виды, или участники, которые сосуществуют, взаимодействуют и уравнивают друг друга, и окружающая среда, поддерживающая их взаимодействие и соответствующие их потребностям, формируют четыре основных структурных элемента экосистемы, а именно: взаимодействие, баланс, самоорганизация и слабая связь групп участников. Необходимость взаимодействовать друг с другом в общих интересах, достигая одновременно и персональной выгоды, заставляет участников искать общие эффективные механизмы, делиться ресурсами, а иногда объединяться в группы, чтобы защититься от внешних угроз. Достижение баланса, стабильности и устойчивости в экосистеме происходит на основе автоматического поиска эффективных алгоритмов самонастраивания в системе. Добровольное вступление агентов в экосистему формирует слабо связанные таксономические группы, члены которых имеют схожую культуру, социальные привычки, интересы и цели: каждый из них может проявлять инициативу и реагировать ради собственной выгоды, и что особенно важно, их роли не фиксированы заранее, а могут изменяться в зависимости от внешних обстоятельств. Наконец, каждый участник является независимым, самодостаточным, автономным и подвержен координации на основе «интеллекта роя».

Эти основные принципы существования биологических экосистем - иметь адаптивное, масштабируемое и устойчивое решение, по мере развития физической экономики в цифровую сетевую экономику позволило преодолеть традиционные индивидуальные формы и закрытые организационные операции и преобразовать их в открытую, динамичную и сетевую среду совместной работы, известную как цифровые экосистемы.

По аналогии с экосистемой, цифровая экосистема в научной литературе определяется как открытая, слабосвязанная, сгруппированная по предметной области, управляемая спросом, самоорганизующаяся среда агентов, где каждый вид проявляет инициативу и реагирует ради

собственной выгоды и достижения собственных целей [например, в 1].

Агенты в цифровой экосистеме - автономные агенты, участвующие в сообществе по собственной инициативе: они неоднородны и характеризуются слабосвязанными отношениями внутри экосистемы, они решают проблемы совместными усилиями, самоорганизацией, распределением подзадач, скоординированными действиями и обменом знаниями и навыками через общую онтологию. Важно, что каждый агент может быть как поставщиком, так и заказчиком услуг в коллаборативной среде экосистемы, в отличие от традиционной среды совместной работы, где их роль предопределена и они являются либо клиентами, либо серверами.

Базовая технология для цифровых экосистем состоит из расширенной архитектуры веб-сервисов, самоорганизующихся интеллектуальных агентов, обмена знаниями на основе онтологий и интеллектуальной системы рекомендаций на основе «интеллекта роя».

Технологии и услуги для цифровых экосистем включают:

- Сильную информационную инфраструктуру, выходящая за рамки традиционной изначально закрытой индивидуальной организации;
- Интерактивное сообщество, которое направляет похожие виды в кластер, ориентированный на предметную область.
- Обширный ресурс данных и информации, который предлагает рентабельные и дополнительные услуги для клиентов или агентов.
- Новую форму электронного взаимодействия, предоставления цифровых услуг и использования сервисов.
- Электронную обработку любой информации и ее интеллектуальное использование за счет сбора бизнес-аналитики из Интернета.
- Платформу для интеграции бизнеса, правительства и передовых информационных систем
- Среду для взаимного обогащения, а также поддержки различных потребностей в рамках цифровой экосистемы и между различными цифровыми экосистемами; междисциплинарное взаимодействие и участие.
- Базовую библиотеку знаний с помощью онтологий для обмена информацией, которая обеспечивает совместное понимание концепций.
- Обеспечение самоорганизации, самостоятельности, самоподготовки, самовывживания, самосогласования, направленных на создание устойчивой среды для сетевых организаций или агентов.

Европейский союз объявил «Инициативу по инновационным экосистемам» частью Седьмого Европейского рамочного предложения и инициатив i2010, в феврале 2007 года в Кэрнсе, Австралия,

состоялась первая международная конференция IEEE по цифровым экосистемам и технологиям.²

Цифровые экосистемы отражают суть классической сложной экологической среды в природе, где биологические и цифровые организмы образуют динамичную и взаимосвязанную сложную экосистему, и декларируют новое мышление в цифровой экономике. Цифровые экосистемы выходят за рамки традиционных строго определенных сред совместной работы, таких как централизованные (клиент-сервер) или распределенные (например, одноранговые) модели или гибридные модели (веб-службы), превращаясь в самоорганизованную интерактивную среду, которая предлагает рентабельные цифровые услуги и деятельность по созданию ценности, которая привлекает людей, организации и программных агентов и которые извлекают из этого выгоду.

В бизнесе Цифровая экосистема - это группа взаимосвязанных информационно-технологических ресурсов, которые могут функционировать как единое целое. Цифровые экосистемы состоят из поставщиков, клиентов, торговых партнеров, приложений, сторонних поставщиков услуг передачи данных и всех соответствующих технологий. Интероперабельность - это ключ к успеху экосистемы.

Эволюция архитектуры цифровых экосистем.

Наиболее распространенный способ организации высокоуровневого сетевого взаимодействия предоставляет «клиент-серверная архитектура», которая определяет общие принципы организации взаимодействия в сети, где имеются серверы, узлы-поставщики некоторых специфичных функций (сервисов) и клиенты (потребители этих функций). Это позволяет разделить функции хранения, обработки и представления данных для более эффективного использования возможностей серверов и клиентов и оптимизации их работы. Такая цифровая инфраструктура определяет, что в среде для совместной работы есть только один сервер, который полностью контролирует как данные и информацию, так и сеть. Все остальные являются только клиентами, и эта роль общения (клиенты или сервер) четко определена с самого начала, т.е. клиент не может быть изменен на сервер для тех же транзакций после настройки инфраструктуры [10].

Одноранговая архитектура (Peer-to-Peer, P2P) основана на равноправии участников, и это означает, что каждый компьютер может выполнять одинаковые роли и функции с другими. P2P-сеть распределяет информацию между узлами напрямую, а не взаимодействует с одним сервером, и у каждого узла есть собственный репозиторий для распространения на другие узлы. В P2P-сети нет центрального хранилища, так как информация автоматически распространяется в сети. Часто в

² (www.ieee-dest.curtin.edu.au).

такой сети отсутствуют выделенные серверы, а каждый узел (peer) является как клиентом, так и выполняет функции сервера. В отличие от архитектуры клиент-сервера, такая организация позволяет сохранять работоспособность сети при любом количестве и любом сочетании доступных узлов [11].

Архитектура GRID предоставляет клиентам парадигму совместного использования ресурсов, являясь сетью взаимодействующих протоколов, сервисов и интерфейсов, которые определяют базовые механизмы соединения пользователей с GRID-системой в целях совместного использования вычислительных ресурсов для решения различного рода задач. GRID-сеть в некоторых отношениях похожа на P2P в том, что они оба обеспечивают совместное использование ресурсов и компонентов между узлами в сети. Несмотря на то, что GRID-сеть поддерживает гетерогенные системы, объединение огромного количества разнородных компонентов и ресурсов является дорогостоящим и с существующими доступными технологиями создает большие трудности [12].

Архитектура мобильных и специальных, локальных сетей предоставляет пользователю инфраструктуру для доступа к сети без привязки к географическому положению и стационарному компьютеру с помощью компактных устройств, таких как КПК, смартфоны и интернет-устройства [13]. Мобильный бизнес (m-business) относится к новым бизнес-моделям, которые обеспечиваются широким внедрением ключевых мобильных и беспроводных технологий и устройств (например, Bluetooth, электронных кошельков, смартфонов, UMTS и WAP), а также присущей большинству людей мобильностью стилей работы и образа жизни. Ценностное предложение m-business заключается в том, что пользователь может извлечь выгоду из информации или услуг в любое время и в любом месте.

Отдельную ступень формирует Архитектура веб-сервиса. Сервис-ориентированная архитектура (SOA, англ. *service-oriented architecture*) отражает модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам. Интерфейсы компонентов в сервис-ориентированной архитектуре инкапсулируют детали реализации (операционную систему, платформу, язык программирования) от остальных компонентов, таким образом обеспечивая комбинирование и многократное использование компонентов для построения сложных распределённых программных комплексов, обеспечивая независимость от используемых платформ и инструментов разработки, способствуя масштабируемости и управляемости создаваемых систем. С середины 2010-х годов обрела

популярность *микросервисная* архитектура — вариант сервис-ориентированной архитектуры, нацеленный на применение насколько это возможно минимально связанных модулей [1].

Наконец, архитектура цифровой экосистемы представляет собой открытое, слабосвязанное, кластерное, самоорганизованное сообщество, основанное на интеллектуальных агентах, где каждый агент выполняет двойные роли. Они могут быть как клиентом, так и сервером одновременно; они могут предлагать свои услуги другим в качестве Сервера и запрашивать помощь в качестве Клиента. Нет централизованного управления или фиксированных ролей, нет фиксированной архитектуры - связь и сотрудничество осуществляется через *интеллект роя* (англ. - *Swarm Intelligence*). *Рой* в данном случае – это набор агентов (участников), которые имеют общие характеристики и могут взаимодействовать прямо или косвенно друг с другом. Вместе - они либо выполняют задачу, либо разделяют проблему.

Swarm Intelligence - важное свойство экосистем, проявляющееся в коллективном поведении участников, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой, и генерирующих согласованный функциональный глобальный паттерн. Swarm Intelligence в настоящее время широко исследуется, поскольку он обеспечивает основу для изучения коллективного поведения при решении проблем в отсутствие централизованных или командно-контрольных систем и для обеспечения гибких, динамических интерактивных моделей [14; 15]. Он предоставляет поле возможностей в отношении рационального поведения, поиска целей, выполнения задач, обучения и других важных теоретических вопросов.

Таким образом, архитектуру цифровых экосистем можно считать новым поколением коллаборативной деятельности, который обеспечивает преодоление главных ограничений предыдущих периодов – централизацию контроля и строгую фиксацию ролей.

В отличие от архитектуры клиент-сервер, где связь является централизованной и представляет собой среду управления и контроля; в отличие от одноранговой архитектуры, где каждый агент имеет четко определенные роли, они могут быть только клиентом или сервером, но не обоими сразу; в отличие от грид-архитектуры, где она объединяет партнеров для совместного использования ресурсов, но не может избежать беспричинного использования; в отличие от сети веб-сервисов, где брокеры централизованы, запросчики и поставщики услуг распределены, и эта гибридная архитектура не гарантирует доверия и QoS - цифровая экосистема является открытым сообществом, в ней нет централизованного контроля или фиксирующих ролей.

Еще одно отличие состоит в том, что в традиционной среде направление коммуникации как запрос, поиск, поиск или привязка является

однаправленным и закреплено за назначенной ролью. Однако в цифровых экосистемах это не так. Запросы «предложение» и «спрос» могут быть инициированы от одного вида или агента (например, X) к любым другим единицам (например, A, B, C) и от A, B, C к X. Это двунаправленное общение.

Смена парадигмы функционирования бизнеса от линейных цепочек создания стоимости к цифровым экосистемам

На протяжении всей современной индустриальной эпохи отрасли промышленности, как правило, были организованы в виде линейных цепочек создания стоимости. Это породило вертикально интегрированную организацию, которая была сформирована таким образом, чтобы контролировать всю цепочку создания стоимости и достичь экономии за счет масштаба, что, в свою очередь, создало бы значительное конкурентное преимущество. По мере того как цифровые технологии продолжают набирать популярность, они начинают создавать новые способы организации процесса создания ценности. Этот переход означает переход от цепочек создания стоимости к цифровым экосистемам, на которые полагаются новые гиганты индустрии, чтобы достичь доминирования на рынке.

Представленные изменения свидетельствуют о смене парадигмы функционирования промышленных систем, когда на место традиционно сложившихся цепочек создания стоимости приходят цифровые экосистемы, и, соответственно, усовершенствованные цифровые цепочки создания стоимости.

В последние годы появляется много научных работ по бизнес-экосистемам, возросший интерес к которым обусловлен их связью с достижениями в области цифровых технологий. Бизнес-экосистемы постоянно определялись, переосмысливались и изучались в течение последних 20 или более лет. [16, 17, 18].

По определению Gartner Research: «цифровая экосистема-это взаимозависимая группа предприятий, людей и/или вещей, которые совместно используют стандартизированные цифровые платформы для взаимовыгодных целей, таких как коммерческая выгода, инновации или общие интересы. Цифровые экосистемы позволяют взаимодействовать с клиентами, партнерами, смежными отраслями-и даже с конкурентами.» По словам Питера Сондергаард, старшего вице-президента Gartner Research «Вы создаете не только цифровой бизнес, но и более связанное, более эффективное цифровое общество» [19].

Профессоры Гарвардской школы бизнеса Марко Янсита и Рой Левиен, известный ученый и изобретатель, лауреат премии Microsoft, в своей работе «Strategy as Ecology», определяют бизнес-экосистемы как «свободные сети поставщиков, дистрибьюторов, аутсорсинговых компаний, производителей сопутствующих продуктов и услуг, поставщиков технологий и множества

других организаций, которые влияют на создание и реализацию собственных предложений компании» [16]. Майкл Дж. Якобидес определяет цифровые экосистемы в бизнесе как "взаимодействующие организации, которые подключены к цифровым сетям, имеют модульную архитектуру и не управляются иерархическими структурами" [17].

Вследствие высокого динамизма и неоднозначности трактовки самого явления, концепция цифровой экосистемы в бизнесе до сих пор не имеет устоявшегося определения, однако очевидно, представляет собой свободные сети взаимодействующих организаций, которые имеют на основе цифровой платформы связь и поддерживаются модульностью, и которые влияют и зависят от предложений друг друга. Результатом такого взаимодействия является то, что одновременно с созданием стоимости для конечного потребителя, владелец платформы и участники экосистемы также получают прибыль и социальные выгоды. Под платформой понимается ключевой строительный блок экосистемы, на котором участники экосистемы могут создавать свои продукты и услуги. Каждый участник экосистемы получает выгоду от взаимодействия внутри экосистемы, а значит, имеет стимул оставаться внутри неё. Таким образом, происходит переход от создания стоимости одной фирмой к созданию стоимости многими фирмами, задействованными и организованными на одной платформе. Это помогает увеличить общую созданную стоимость и носит название «перевернутая фирма».

В основе концепции перевернутой фирмы лежит сдвиг локуса создания стоимости изнутри компании наружу. Применение цифровых технологий может снизить операционные издержки предприятия, что приводит к снижению стоимости привлечения третьих лиц для поставки товаров или услуг и делает более практичным и экономически выгодным сотрудничество с внешними партнерами, вместо того чтобы пытаться делать все своими силами. Происходит смещение парадигмы организации производственной деятельности в сторону участия третьих сторон, распределенных цифровых экосистем и более прочного цифрового партнерства. Чаще всего это связано с выстраиванием пространства, интегрирующим объекты из цепочки «предложение-спрос», раздвигающим отраслевые границы и предлагающие удовлетворить любые связанные запросы. Например, компании, занимающиеся бронированием жилья, удовлетворяют целую популяцию комплексных сопряженных услуг от аренды, покупки и страхования автомобилей и покупки недвижимости до консультаций с врачами и пр.

Заключение

Важно отметить, что экосистема - это нечто большее, чем набор партнерских отношений. Поскольку это сеть свободных участников, которые тесно взаимодействуют для создания взаимной

ценности, между партнерами в экосистеме обязательно существует атмосфера взаимозависимости. Это означает, что все партнеры разделяют один и тот же интерес и что отдельные партнеры будут успешны только в том случае, если экосистема преуспеет в целом. Таким образом, бизнес-и операционные модели должны быть адаптированы к новой парадигме коллаборативной среды, иначе игроки рискуют оглянуться вслед быстро набирающему скорость поезду.

Список литературы

1. Chang E. and West M. "Digital Ecosystem - A next generation of the collaborative environment," presented at iiWAS 2006, Yogyakarta, 2006.
2. Miller S. Aspect-oriented programming takes aim at software complexity. *IEEE Computer*, 34:18–21, 2001.
3. Sutter H. The free lunch is over: A fundamental turn toward concurrency in software. *Dr. Dobbs's Journal*, 2005.
4. Markoff J. Faster chips are leaving programmers in their dust. Technical report, *New York Times*, 2007. Available from: <http://www.nytimes.com/2007/12/17/technology/17chip.html>.
5. Lyytinen K. and Y. Yoo. The next wave of nomadic computing: A research agenda for information systems research. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 1:1–20, 2001.
6. McIlraith S., Son C., and Zeng H. Semantic web services. *IEEE Intelligent Systems*, 16:46–53, 2001.
7. Narayanan S. and McIlraith S. Simulation, verification and automated composition of web services. In international conference on World Wide Web, pages 77–88. *ACM Press*, 2002.
8. Milanovic N. and Malek M. Current solutions for web service composition. *IEEE Internet Computing*, 8:51–59, 2004.
9. Curbera F., Duftler M., Khalaf R., Nagy W., Mukhi N. and Weerawarana S. Unraveling the web services web: An introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. *IEEE Internet Computing*, 6:86–93, 2002.
10. Chang, E., Dillon, T.S. & Hussain, F., 2005, 'Trust and reputation for service oriented environments- Technologies for building business intelligence and consumer confidence', John Wiley & Sons, ISBN: 0-470- 01547-0
11. Tomoya, K. & Shigeki, Y., 2003, 'Application of P2P (peer-to-peer) technology to marketing', *Proceedings of the 2003 International Conference on Cyberworlds (CW'03)*, pp. 1-9.
12. Roure, D. D., Baker, M. A., Jennings, N. R. & Shadbolt, N. R., 2003, 'The evolution of the grid', in Berman, F., Hey, A. & Fox, G. (eds.), 'Grid Computing - Making the Global Infrastructure a Reality', John Wiley & Sons, Ltd.
13. Weisman, C. 'The essential guide to RF and wireless', 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002.
14. Chakraborty T. and Datta S. K. " Application of swarm intelligence in Internet of Things", 2017 *IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, Kuala Lumpur, 2017, PP.67-68, doi: 10.1109/ISCE.2017.8355550.
15. Saka M.P., Doğan E., Aydogdu Ibrahim "Analysis of Swarm Intelligence–Based Algorithms for Constrained Optimization". *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation Theory and Applications*, 2013, Pp 25-48
16. Iansiti M., Levien R. Strategy as Ecology. *Harvard Business Review* 82.3. March 2004// <https://hbr.org/2004/03/strategy-asecology>
17. Jacobides M. Designing Digital Ecosystems. In Jacobides M. et.al. *Platforms and Ecosystems: Enabling the Digital Economy*, Briefing Paper, World Economic Forum.2019 // http://www3.weforum.org/docs/WEF_Digital_Platforms_and_Ecosystems_2019.pdf
18. Gawer, A. 2014. Bridging Differing Perspectives on Technological Platforms: Toward an integrative framework, *Research policy*, 43(7): 1239-1249.
19. Bennett M. What is a digital ecosystem, and how can your business benefit from one?// <https://www.telegraph.co.uk/business/ready-and-enabled/what-is-a-digital-ecosystem/>

УДК 614.87

Идиев С.Б., Егібеков П.Е.

Таджикский государственный университет коммерции

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОДВИЖНОСТЬ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

UDC 614.87

S. B. Idiev, P. E. Agabekov

Tajik state University of Commerce

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL POLLUTION ON HUMAN BLOOD MOBILITY

Аннотация. В работе рассматривается воздействие магнитного и электрического поля на подвижность, вязкость и магнитогидродинамических волн на скорость течения крови в организм человека. Выяснено, что скорость магнитогидродинамических волн тормозит подвижности крови в капиллярах.

Abstract. The paper considers the effect of magnetic and electric fields on the mobility, viscosity, and magnetohydrodynamic waves on the speed of blood flow to the human body. It was found that the speed of magnetohydrodynamic waves inhibits the mobility of blood in capillaries.

Ключевые слова: загрязнение, окружающей среды, магнитного поля, молекул гемоглобин, вязкость крови, магнитный момент, подвижность ионов, подвижность крови

Key word: pollution, environment, magnetic field, hemoglobin molecules, blood viscosity, magnetic moment, ion mobility, blood mobility

Адрес для корреспонденции: Идиев Сохибназар Боронович. 734055, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Дехоти 1/2, Таджикский государственный университет коммерции.

Correspondence address: Idiev Sohibnazar Boronovich. 734055, Republic of Tajikistan, Dushanbe, 1/2 Dekhoti street, Tajik state University of Commerce.

В настоящее время интенсивное использование в информационной жизни общества электромагнитной и электрической энергий привело к развитию современных технологий, дистанционного контроля и наблюдения, некоторых видов новейшего транспорта, а также развитие ряда технологических процессов. Применение новых промышленных, военных технологий и радиотехнических приборов привели к созданию и повсеместному распространению излучения электромагнитной энергии в окружающую среду [1].

Важной потребностью человека во все времена являлась и является его безопасность. Особую актуальность проблема защиты человеческой жизни от действия естественных, антропогенных и техногенных негативных воздействий приобрела в конце XX и начала XXI века. Проблема электромагнитной безопасности и защиты окружающей природной и производственной среды, а, следовательно, охрана труда и самого человека от воздействия ЭМП приобрела большую актуальность и социальную значимость во всем мире. Любое изменение окружающей среды и воздействие ЭМП в первую очередь влияют на составляющие части крови человека [2].

Воздействие магнитного поля на молекулы гемоглобина существенно связаны с патологическим эффектом организма. Гемоглобин и миоглобин пара - магнитны, в отличие от подавляющего большинства других биологических молекул. Магнитные поля могли бы влиять на поведение молекула гемоглобина и миоглобина в соответствующих клетках [3,4].

Можно привести множество примеров из жизни животных (лесные мыши, почтовые голуби, пчелы, железобактерии), которые прекрасно ориентируются по направлению магнитного поля [5]. Особо можно отметить влияние магнитного поля на молекулы гемоглобина крови, которые содержат более 80 процентов железа в организме, из-за чего очень чувствительны к магнитным полям.

Опытами Эйхенвальда, Роуланда и Хистеда, проведенными в разное время, было доказано, что вращающийся электрический заряд возбуждает электрический ток и магнитное поле [6]. Эритроциты заряженные клетки крови, на которые могут воздействовать электрические и магнитные поля. Электропроводимость крови в основном

зависят от ионов Na^+ , Cl^- и бикарбоната натрия ($NaHCO_3$). Значение электропроводимости крови численно равняется $\lambda = 123,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$. Диэлектрическая проницаемость крови, характеризующая препятствие, оказываемое двумя эритроцитом при приближении их одному к другому равны $\epsilon = 85,5$.

Когда эритроциты находятся в электрических и магнитных полях, на них будет действовать сила Лоренца, который способствующая закручиванию эритроцитов по спиралевидным траекториям вдоль силовых линий магнитного поля.

Полная Лоренцовая сила действующая на движение эритроцит крови при одновременном наличии электрического и магнитного полей, равен [4]

$$\begin{aligned} \vec{F}_L &= \vec{F}_E + \vec{F}_B \\ \vec{F}_E &= q \vec{E} \\ \vec{F}_B &= q [\vec{V}, \vec{B}], \end{aligned} \quad (1)$$

где q – заряд эритроцита, V – скорость течение жидкости крови, \vec{E} – напряженность электрического поля и \vec{B} – индукция магнитного поля.

Если направление этих полей совпадает, то выражение (1) в скалярном виде можно записать:

$$F_L = (F_E^2 + F_B^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Если предполагать, что $F_E = nF_B$, тогда

$$F_L = F_B(n^2 + 1)^{\frac{1}{2}} = q\vartheta B(n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где n – число целое.

Вязкость крови в зависимости от магнитного поля может быть найдено, если приравнять силу Лоренца к силам сопротивления среды- силе Стокса:

$$F_c = 6\pi\eta r\vartheta \quad (4)$$

где η – коэффициент вязкости крови, $r = \frac{d}{2}$ – радиус форменного элемента крови.

Приравняв (3) и (4) получим:

$$\eta = \frac{qB}{6\pi r} (n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что вязкость крови растет с увеличением индукции магнитного поля.

Если рассматриваем воздействия электрическом поле на молекулы гемоглобина, то в соответствии $F_B = nF_E$, тогда из уравнения (2) находим силу Лоренца:

$$F_L = F_E(1 + n^2)^{\frac{1}{2}} = qE(1 + n^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

Если приравнять значение (6) на (4) находим вязкость крови в электрическом поле

$$\eta = \frac{qE}{6\pi r \vartheta} (1 + n^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Подвижность ионов в жидкости равно отношению его скоростью в электрическом поле к напряженности поля [7]

$$\vartheta = UE, \quad (8)$$

где U – подвижность ионов жидкости крови. Подставляя (8) в (7) получим:

$$U = \frac{q}{6\pi \eta r} (1 + n^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что подвижность ионов зависит от заряда, вязкости, диаметра и других характеристик клетки крови. Подвижность ионов крови возрастает с повышением температуры (за счет уменьшения вязкости жидкости), и не зависит от напряженности \vec{E} электрического поля.

Подставляя значение (5) в (9) получим отношения индукция магнитного поля от подвижности крови.

$$BU = const \quad (10)$$

Поскольку, подвижность прямо пропорционально скорости, то она уменьшается с ростом индукции магнитного поля. Формула (10) достаточно хорошо описывает действия индукция магнитного поля на подвижность гемоглобина крови. Магнитное поле, геомагнитная активность может воздействовать на скорость движение крови в капиллярах кровеносных сосудов. В дни с повышенной геомагнитной активностью скорость крови в капиллярах почти в два раза ниже, чем в магнитно спокойные дни.

Если принимать кровь несжимаемой проводящей жидкостью и находящейся в магнитном поле, тогда вдоль силовых линий этого поля образуются магнитогидродинамические волны Альвена со скоростью:

$$\vartheta_A = \frac{B}{\sqrt{4\pi\rho}}, \quad (11)$$

где ρ – плотность жидкости крови.

Подставляя значение индукции магнитного поля из (10) в выражение (11), получим

$$\vartheta_A = \frac{const}{U\sqrt{4\pi\rho}}, \quad (12)$$

Отсюда следует, что скорость магнитогидродинамических волн тормозит подвижности крови в капиллярах. А также скорость магнитогидродинамических волн влияет на подвижность разных ионов в организм человека. Электромагнитные загрязнения окружающей среды влияет на проницаемость ионов, изменяет их концентрацию, биохимическую активность, уменьшает активность кислорода, и других веществ, и за счет этого ухудшаются обменные процессы [8].

Исходя из вышеизложенного, можно перечислить методы защиты от электромагнитных излучений:

- рациональное размещение излучающих и облучающих объектов, исключаящее или ослабляющее воздействие излучения на персонал;
- ограничение места и времени нахождения работающих в электромагнитном поле;
- защита расстоянием, то есть удаление рабочего места от источника электромагнитных излучений;
- уменьшение мощности источника излучений;
- использование поглощающих или отражающих экранов.

Литература

1. Идиев С.Б., Х.И. Максадов Электромагнитное загрязнение окружающей среды и его влияние на живой организм. Материалы республиканской конференции по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов. Душанбе: Эр-граф. 2014. - С.49-52.
2. Идиев С.Б. О самом удивительном веществе в мире. – Душанбе: «Ирфон», 2019. - 29с
3. Волькенштейн М.В. Биофизика. Пассивный мембранный транспорт Второе издание -М.: Издательство «Наука», 1988, 592с.
4. Ёгибеков П.Е., Бабаев А.С., Амрибахшов Д.А. Ориентация молекул жидкого кристалла в магнитном поле. Сб. Электрические свойства жидких кристаллов. Душанбе, 1982. с.144-145.
5. Богданов К. Ю. Физик в гостях у биолога - М.: 1986,
6. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. АН Украинской ССР- Киев, изд. «Наукова думка», 1973, 94с.
7. Грабовский Р.И. Курс физики. Электролиз жидкости. Закон Фарадея. Высш. Школа. 1980, с.607.
8. Ёгибеков П.Ё., Идиев С.Б. Диффузия или перенос вещества через биомембрану клетки / П.Ё. Ёгибеков, // Международная научно-методическая конференция. «Современные проблемы математики и ее преподавания», посвящённая 35-летию университета и 20 - летию Кафедры алгебры и геометрии. Курган-Тюбе: Ношир-С. 2013. - С.29-31.

УДК 004.3: 51-74: 681.325: 519.713

Larchenko B.D.*PhD Student of the Design Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics***Shkil A. S.***PhD, Associate Professor,
Associate Professor of Desig Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics.***Larchenko L.V.***PhD, Associate Professor,
Associate Professor of Desig Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics.***HARDWARE ONLINE COMPUTER OF POWER FUNCTIONS WITH BIT-STREAM DATA****Ларченко Богдан Дмитриевич***аспирант кафедры автоматизации проектирования
вычислительной техники,**Харьковский национальный университет радиоэлектроники***Шкиль Александр Сергеевич***кандидат технических наук,**доцент кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники***Ларченко Лина Викторовна***кандидат технических наук,**доцент кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники***АППАРАТНЫЙ ONLINE ВЫЧИСЛИТЕЛЬ СТЕПЕННЫХ ФУНКЦИЙ
С БИТОВЫМ ПОТОКОМ ДАННЫХ**

Summary. Models and methods of a bit-stream online calculator of power functions design are proposed, using the previously proposed method for generating increments of increasing step functions, based on the principle of sampling a certain part of bits from the input bit-stream data. An improved mathematical model of a bit-stream power functions computer is obtained, which is represented by a system of difference inequalities, when each of them is executed, the bits of the output data stream corresponding to the nodes of approximation of the reproduced function are formed at the output of the device. In this case, the absolute error in calculating the specified function does not exceed half of the unit of the least significant bit of the argument. The device has a streaming method for online computations with parallel-sequential conversions of the input bit stream in accordance with a given function. Thanks to a more advanced mathematical model, a calculator architecture with a simpler technical solution is proposed. A hardware model of the calculator based on the Moore's finite state machine model is proposed, a graph diagram of the device operation algorithm and a graph model of the control unit are developed, which provides clarity and consistency of the algorithm implementation. The device is implemented in the FPGA platform, which provides flexibility of reconfiguration, reliability and high performance.

Аннотация. Предлагаются модели проектирования бит-поточкового online вычислителя степенных функций, использующие предложенный ранее, метод формирования приращений возрастающих ступенчатых функций, основанный на принципе выборки определенной части бит из входного битового потока данных. Получена усовершенствованная математическая модель бит-поточкового вычислителя степенных функций, которая описана системой разностных неравенств, при выполнении каждого из которых на выходе устройства формируются биты выходного потока данных, соответствующие узлам аппроксимации воспроизводимой функции. При этом абсолютная погрешность вычисления заданной функции не превышает половины единицы младшего бита аргумента. В устройстве организован потоковый метод online вычислений с параллельно-последовательным выполнением преобразований над входным битовым потоком в соответствии с заданной функцией. Благодаря более совершенной математической модели предлагается архитектура вычислителя с более простым техническим решением. Предлагается аппаратная модель вычислителя, выполненная на основе конечного автомата модели Мура, разработана граф-схема алгоритма работы устройства и графовая модель управляющего автомата, что позволяет обеспечить четкость, наглядность и непротиворечивость реализации алгоритма. Устройство имплементировано в платформу FPGA, обеспечивающую гибкость реконфигурации, надежность и высокое быстродействие.

Key words: functional conversion, bit-stream data, bit-stream computing, method, approximation, mathematical model, Finite State Machine, verification

Ключевые слова: функциональное преобразование, битовые потоки данных, обработка битовых потоков, метод, аппроксимация, математическая модель, конечный автомат, верификация

1. Постановка задач исследования

В настоящее время наблюдается рост сложности задач по организации вычислений в сенсорных системах, робототехнике, системах управления и интеллектуальных измерительных системах. Одним из направлений, связанных с созданием новых базовых элементов для построения названных систем, является разработка устройств, выполняющих функциональное преобразование информационных сигналов, представленных битовыми потоками данных [1, 2].

Большинство цифровых систем работают с позиционным представлением данных, например с двоичным кодированием. Альтернативой является представление данных в виде битовой последовательности в определенном интервале времени. Это представление намного менее компактно, чем двоичное кодирование, однако сложные операции можно выполнять с помощью простых логических компонентов [3]. В бит-поточном кодировании данные представляют собой потоки импульсов единичной амплитуды. При этом информативным параметром является фиксированное значение импульсов произвольной длительности за временной интервал.

Бит-поточковые формы позволяют осуществлять передачу и обработку информационных сигналов способами, характеризующимися возможностью последовательной обработки потоков в темпе поступления единичных бит и высокой помехоустойчивостью вследствие непоозиционного характера и эквивалентности единичных бит по отношению к их весу в цифровом коде [4]. При этом бит-поточковая форма сигналов сохраняя помехоустойчивость, не дает информационной избыточности и позволяет обеспечивать высокое быстродействие устройств [5].

В системах, где имеет место первичная обработка измерительной информации для принятия решений о результатах измерений с целью реализации задач управления, в большинстве случаев требуются плавные изменения сигналов управления, например, при воздействии на исполнительные механизмы роботов, манипуляторов, и других устройств. При этом для сглаживания сигналов могут использоваться различные функции: логарифмическая, экспоненциальная, степенная, дробно-рациональная, тригонометрические [6].

Бит-поточковые online вычислители степенных функций широко используются в измерительных системах и системах управления и контроля, где имеет место цифровая функциональная развертка, предусматривающая реализацию поточкового метода вычислений во времени с одновременным параллельно-последовательным выполнением

преобразований над единичными битами потока данных в соответствии с требуемой функцией, то есть последовательное вычисление значений функции, выполняемых для соседних значений аргумента. Каждое последующее значение функции вычисляются на основании предыдущего результата вычислений. При этом первое вычисление осуществляют с учетом ввода начальных условий [7].

При синтезе бит-поточковых степенных вычислителей с дробным показателем степени используют подход, при котором процедура вычисления функции осуществляется в два этапа, на первом этапе вычисляется численное значение величины x^m в параллельном коде, а на втором – из полученного числа извлекается корень n -й степени. При этом промежуточная функция x^m формируется путем m -каскадного включения двоичных умножителей, выходная частота каждого из которых возрастает от каскада к каскаду, что ограничивает частоту входного битового потока. В [8] рассмотрено устройство для возведения с дробную положительную степень, которое позволяет совместить операции возведения в степень и извлечение корня в одном устройстве. Одним из его недостатков является наличие в цепи обратной связи схемы распределения импульсов, техническая реализация которой усложняется с ростом значения знаменателя дробного показателя степенной функции. Предложенный в работе бит-поточковый online вычислитель степенных функций позволяет устранить названный недостаток благодаря усовершенствованной математической модели вычислителя.

Целью исследования является разработка математической, структурной и аппаратной моделей проектирования бит-поточкового online вычислителя степенных функций. Для достижения цели определены задачи исследования: анализ способа формирования приращений возрастающих степенных ступенчатых функций с бит-поточковой формой представления аргумента, разработка усовершенствованной математической модели вычислителя на основе рассмотренного метода, синтез архитектуры вычислителя на основе анализа способа построения конвейерных архитектур бит-поточковых вычислителей полиномиальных функций, разработка аппаратной модели вычислителя на основе конечного автомата и верификация, тестирование и имплементация предложенной модели в платформу ПЛИС.

2. Математическая модель бит-поточкового online вычислителя степенных функций

Математическая модель бит-поточкового вычислителя степенных функций была получена на основе предложенного в [9] метода формирования приращений возрастающих ступенчатых функций.

В соответствии с методом непрерывная функция $y^* = f(x^*)$, ограниченная условиями $x^*, y^* \geq 0$, $y^* \leq x^*$, $\frac{dy^*}{dx^*} > 0$ и имеющая обратную функцию $x^* = \psi(y^*)$, может быть воспроизведена на выходе бит-потокowego вычислителя ступенчатой аппроксимирующей функцией, имеющей вид

$$y = [f(x) + |\delta_{max}|, \quad (1)$$

где x , y – входной и выходной битовые потоки данных соответственно, $|\delta_{max}|$ – заданное предельное значение абсолютной погрешности воспроизведения непрерывных функций, лежащей в диапазоне $0.5 \leq |\delta_{max}|$. В (1) квадратные скобки обозначают целую часть числа.

Особенностью рассматриваемых вычислителей, входной x и выходной y информационные сигналы представляют собой два битовых (импульсных) потока, периодичность следования бит первого из которых определяется способом квантования воспроизводимой функции по аргументу, а второго – алгоритмом функционирования устройства. В случае, когда функция y^* меняется монотонно, на вход устройства подаются периодическую импульсную последовательность прямоугольной формы, обеспечивая равномерное квантование аргумента целочисленными значениями аргумента. При синтезе таких устройств в первую очередь минимизируют время и погрешность вычисления. В случае, когда аргумент и значение функции, представленные импульсными потоками, минимально возможное время вычисления будет обеспечено, если за время введения в бит-поток вычислитель x одиночных импульсов битового потока на его выходе формируется значение функции y , которое представляет собой выходной битовый поток. С точки зрения точности вычисления функции устройством оптимальным может быть режим, обеспечивающий для всех ее целочисленных значений предельное значение абсолютной погрешности вычисления, не превышающей половины единицы младшего разряда аргумента.

Процесс воспроизведения функции (1) может быть сведен к выборке определенной части бит из входного битового потока x , номера которых могут быть определены неравенством

$$\Psi(y - |\delta_{max}|) \leq |\delta_{max}|, \quad (2)$$

где $\Psi(y - |\delta_{max}|)$ – функция, обратная $f(x)$.

Неравенство (2) представляет собой формулу общего члена x_y числовой последовательности x_1, x_2, x_3, \dots выбираемых бит из входного битового потока x , которые образуют выходной битовый поток y и соответствуют узлам аппроксимации степенной функции. При этом значения x_y могут быть найдены путем последовательной подстановки $y=1, 2, 3, \dots$ в неравенство (2),

вычислением левой его части и округлением получаемых дискретных значений в большую сторону до ближайшего целого числа.

Бит-поток вычислитель степенных функций предназначен для вычисления непрерывных функций, имеющих вид

$$y^* = x^{*\frac{m}{n}}, \quad (3)$$

где m, n – натуральные положительные числа. Степенная ступенчатая функция, аппроксимирующая непрерывную (3) имеет вид

$$y = [x^{\frac{m}{n}} + |\delta_{max}|, \quad (4)$$

Формирование степенной ступенчатой функции (4) на выходе вычислителя может быть осуществлено путем одновременного формирования приращений функций x^m и y^n в процессе поступления на вход устройства битового потока x , непрерывном сопоставлении их текущих значений и формировании выходных битов устройства y в моменты их равенства.

При условии, что показатели дробной степени $m < n$, значения выборок x_y степенной функции, могут быть определены на основании выражения (2)

$$\left(y - |\delta_{max}| \leq \left(x_y^{\frac{n}{m}} - |\delta_{max}| \right)^{\frac{m}{n}} \right). \quad (5)$$

При подстановке в (5) значения минимальной абсолютной погрешности $|\delta_{max}| = \frac{1}{2}$, после некоторых преобразований получено неравенство

$$(2y - 1)^n \leq 2^n x_y^m < (2y - 1)^n + 1. \quad (6)$$

Исходя из (6), неравенство, реализуемое в устройстве, имеет вид

$$2^n x_y^m \geq (2y - 1)^n. \quad (7)$$

С целью упрощения технической реализации устройства целесообразно сравнивать не текущие значения воспроизводимых функций левой и правой частей неравенства, а их приращения между каждыми двумя соседними узлами аппроксимации.

Математическая модель бит-потокowego online вычислителя степенных функций представляет собой систему неравенств, которая получена на основе неравенства (7) и записана в разностях

$$2^n x_1^m \geq (2y_1 - 1)^n,$$

$$2^n (x_2^m - x_1^m) + \Delta_1 \geq (2y_2 - 1)^n - (2y_1 - 1)^n, \quad (8)$$

.....

$$2^n (x_y^m - x_{y-1}^m) + \Delta_{y-1} \geq (2y_k - 1)^n - (2y_{k-1} - 1)^n,$$

где Δ_{y-1} – разность, полученная в результате сравнения приращений текущих значений функций $2^n x^m$ и $(2y - 1)^n$ между двумя соседними узлами аппроксимации воспроизводимой функции на предыдущем шаге вычислений; целочисленные значения $y_1 \leq y \leq y_k$ и $1 \leq y_k \leq k$; $x_0, \Delta_0 = 0$

В системе неравенств (8) Δ_1 и Δ_{y-1} определяются как

$$\Delta_1 = 2^n x_1^m - (2y_1 - 1)^n, \quad (9)$$

$$\Delta_{y-1} = 2(x_y^m - x_{y-1}^m) + \Delta_{y-2} - (2y_k - 1)^n + (2y_{k-1} - 1)^n. \quad (10)$$

При поступлении на вход устройства некоторого бита x_y битового потока x на его выходе будет сформирован выходной бит y_k при выполнении каждого неравенства системы (8). Следовательно, первому выходному биту $y_1 = 1$ соответствует выбранный бит с номером x_1 входного битового потока x , при этом будет выполнено первое неравенство системы (8). Аналогично, второму биту $y_2 = 2$ соответствует выбранный бит с номером x_2 , при котором будет выполнено второе неравенство системы и так далее.

В качестве примера рассмотрим степенную функцию

$$y = [x^{\frac{2}{3}} + 0.5], \quad (11)$$

где заданная абсолютная погрешность вычисления $|\delta_{max}|$.

На основании (7) неравенство, которое необходимо реализовать в устройстве имеет вид

$$2^3 x_y^2 \geq (2y - 1)^3. \quad (12)$$

Используя формулу (12), математическая модель бит-потоккового вычислителя степенной функции (11) примет вид

$$2^3 x_1^2 \geq (2y_1 - 1)^3,$$

$$2^3(x_2^2 - x_1^2) + \Delta_1 \geq (2y_2 - 1)^3 - (2y_1 - 1)^3, \quad (13)$$

.....

$$2^3(x_y^2 - x_{y-1}^2) + \Delta_{y-1} \geq (2y_k - 1)^3 - (2y_{k-1} - 1)^3,$$

где

$$\Delta_1 = 2^3 x_1^2 - (2y_1 - 1)^3, \quad (14)$$

$$\Delta_{y-1} = 2^3(x_y^2 - x_{y-1}^2) + \Delta_{y-2} - (2y_k - 1)^3 + (2y_{k-1} - 1)^3. \quad (15)$$

3. Архитектура бит-потоккового вычислителя степенных функций

На основе математической модели вычислителя степенных функций предложена обобщенная архитектура бит-потоккового вычислителя, изображенная на Рис.1, на основе которой могут быть построены архитектуры бит-потокковых вычислителей элементарных математических функций, таких, как линейная, степенная, дробно-рациональная.

Математические модели бит-потокковых вычислителей, основанные на системе неравенств, должны содержать блоки вычисления функций левой и правой частей неравенств и блок сравнения их текущих значений.

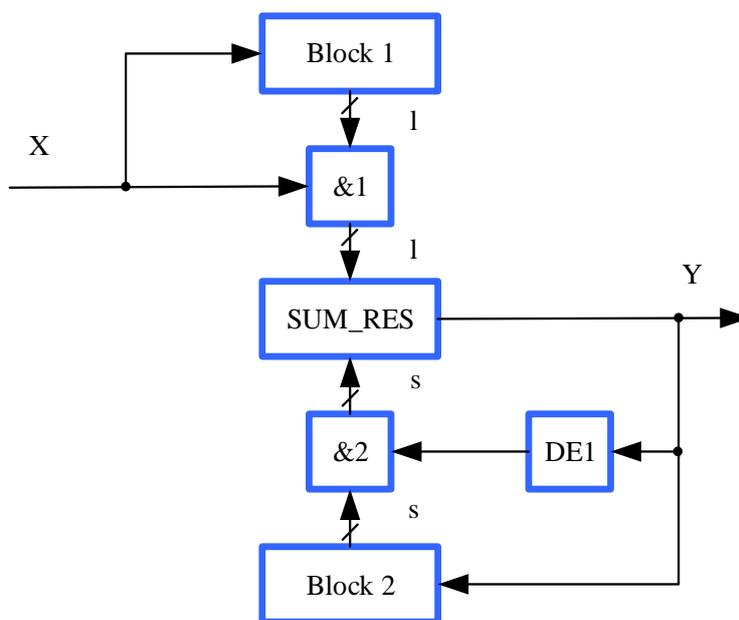


Рис1. Обобщенная архитектура бит-потоккового вычислителя

В устройстве реализуется неравенство (7). В общем случае бит-поточковый вычислитель степенной функции с дробным показателем содержит первый Block 1 и второй Block 2 устройства воспроизведения функций $2^n x_y^m$ и $(2y - 1)^n$ соответственно.

Основным вычислительным ядром является сумматор результата SUM_RES, который используется в качестве схемы сравнения параллельных кодов приращений решетчатой функции $2^n x_y^m$ и приращениями решетчатой функции $(2y - 1)^n$ с учетом их разности Δ_{y-1} , полученной на предыдущем шаге вычислений. Формирование ступенек воспроизводительной

функции осуществляется на выходе SUM_RES, в который с Block 1 поступают прямые бинарные коды чисел, а с Block 2 - дополнительные коды чисел.

Архитектура вычислителя исследуемой степенной функций (11) приведена на Рис. 2 и представляет собой конвейерную архитектуру, содержащую полиномиальные модули, состоящие из следующих компонентов: сумматор SUM_1, суммирующий счетчик Count, регистр RG1, реализующие функцию $2^3 x_y^2$ и сумматоры SUM_1, SUM_2, SUM_3, регистр RG2, реализующие функцию $(2y - 1)^3$.

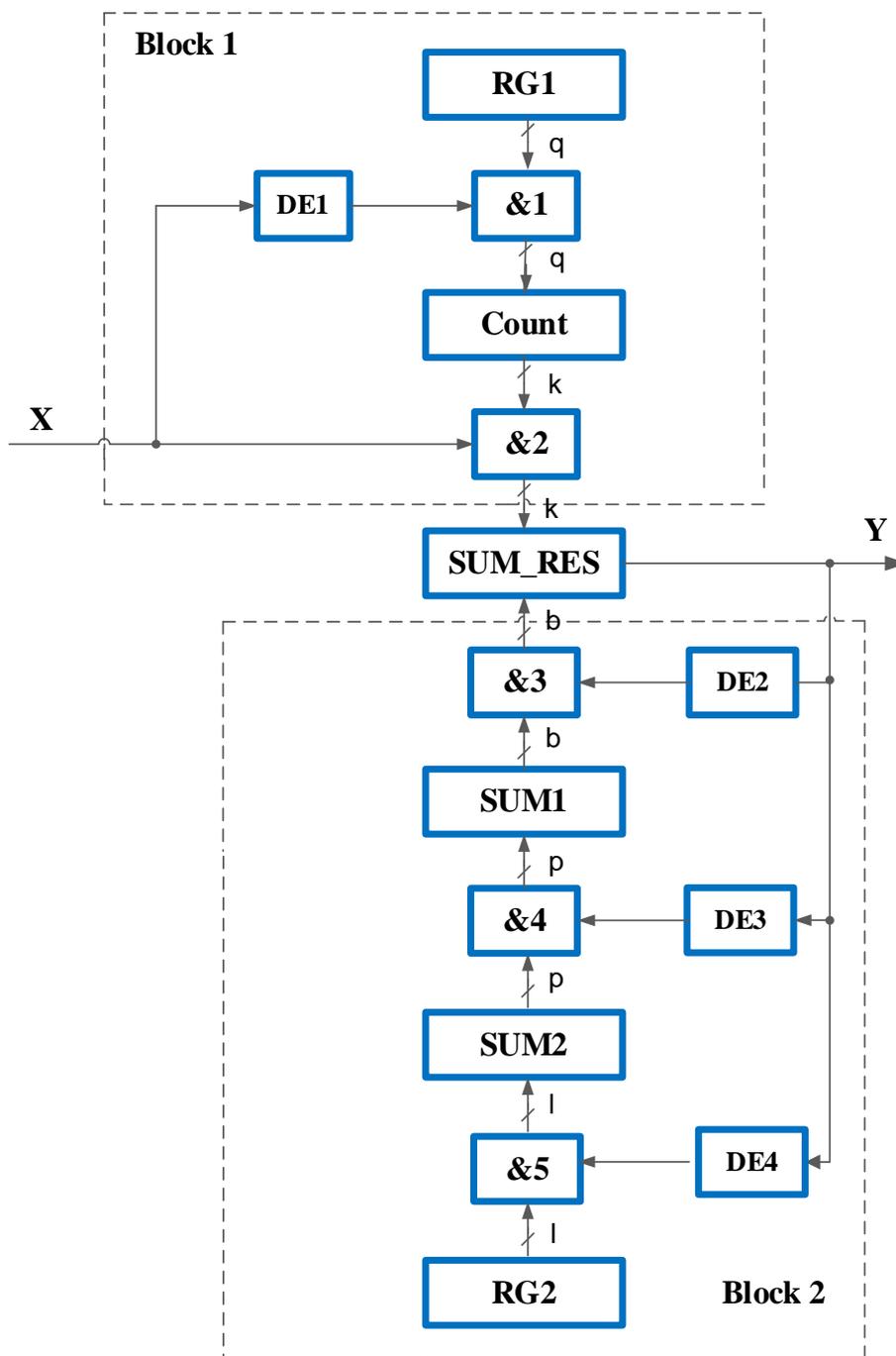


Рис.2 Архитектура бит-поточкового вычислителя степенной функции

В сумматоре SUM_1 осуществляется сравнение параллельных кодов приращений решетчатой функции $2^3x_y^2$ с приращениями решетчатой функции $(2y - 1)^3$. Приращения решетчатой функции $2^3x_y^2$ поступают в SUM_1 в прямом двоичном коде, а приращения решетчатой функции $(2y - 1)^3$ - в дополнительном.

4. Аппаратная реализация бит-поточкового вычислителя степенных функций.

Аппаратная реализация бит-поточкового online вычислителя выполнена на примере функции (11). Результаты вычисления исследуемой функции с заданной погрешностью вычисления $|\delta_{max}|$ и округлением результата функции при значениях входного битового потока длиной $x_{max}=10$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты вычисления степенной функции

X	Значение функции Y
x=1	$y=[1^{\frac{2}{3}}+0.5] = [1.5]=1$
x=2	$y=[2^{\frac{2}{3}}+0.5] = [2.09]=2$
x=3	$y=[3^{\frac{2}{3}}+0.5] = [2.58]=2$
x=4	$y=[4^{\frac{2}{3}}+0.5] = [3.02]=3$
x=5	$y=[5^{\frac{2}{3}}+0.5] = [3.42]=3$
x=6	$y=[6^{\frac{2}{3}}+0.5] = [3.8]=3$
x=7	$y=[7^{\frac{2}{3}}+0.5] = [4.16]=4$
x=8	$y=[8^{\frac{2}{3}}+0.5] = [4.5]=4$
x=9	$y=[9^{\frac{2}{3}}+0.5] = [4.83]=4$
x=10	$y=[10^{\frac{2}{3}}+0.5] = [5.14]=5$

Значения выборок x_y из входного битового потока определяются на основе выражения (5)

$$x_y = [(y - 0.5)^{\frac{3}{2}} + 1]. \quad (16)$$

При подстановке в (16) значений $y = 1, 2, 3, 4, 5$ получим значения выборок $x_y = 1, 2, 4, 7, 10$ соответственно.

В устройстве реализуется неравенство (12). Вычисление левой и правой частей неравенства (12) можно осуществить на основе конвейерных вычислений, которые предполагают вычисление арифметических рядов 2-го и 3-го порядков соответственно при подстановке значений $x, y = 1, 2, 3, \dots, 10$. При этом вопросы синтеза устройства решаются путем понижения порядка разностей.

Для функции $2^3x_y^2$, арифметический ряд второго порядка имеет вид

$$8, 32, 72, 128, 200, 288, 392, 512, 648, 800.$$

Арифметические ряды разностей первого и второго порядков имеют вид

$$\Delta 8, 24, 40, 56, 72, 88, 104, 120, 136, 152$$

$$\Delta^2 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16.$$

Для функции $(2y - 1)^3$ арифметический ряд третьего порядка имеет вид

$$1, 27, 125, 343, 729, 1331, 2197, 3375, 4913, 6859.$$

Арифметические ряды разностей первого второго и третьего порядков соответственно имеют вид

$$\Delta 26, 98, 218, 386, 602, 866, 1178, 1538, 1946$$

$$\Delta^2 72, 120, 168, 216, 264, 312, 360, 408$$

$$\Delta^3 48, 48, 48, 48, 48, 48, 48.$$

Рассмотренная методика используется при построении конвейерной архитектуры бит-поточкового вычислителя степенной функции.

Компоненты архитектуры устройства инициализируются начальными значениями полученных арифметических рядов второго и третьего порядков и их разностей соответственно: Count = 8, SUM1 = -1, SUM2 = 26, SUM3 = 72, RG1 = 16, RG2 = 48.

В таблице 2 приведен вычислительный процесс в компонентах устройства.

Вычислительный процесс в компонентах устройства

X	SUM_1	Y	Count	SUM_2	SUM_3
1	-1+8=7 7-26=-19	1	8+16=24	26+72=98	72+48=120
2	-19+24=5 5-98=-93	1	24+16=40	98+120=218	120+48=168
3	-93+40=-53		40+16=56		
4	-53+56=3 3-218=-215	1	56+16=72	218+168=386	168+48=216
5	-215+72=-143		72+16=88		
6	-143+88=-55		88+16=104		
7	-55+104=49 49-386=-337	1	104+16=120	386+216=602	216+48=264
8	-337+120=-217		120+16=136		
9	-217+136=-81		136+16=152		
10	-81+152=71 71-602=-531	1	152+16=168	602+264=866	264+48=312

При подаче на вход устройства 10 бит входного битового потока x на его выходе появятся 5 бит y выходного потока, из входного битового потока будут выбраны биты x_y с номерами 1, 2, 4, 7, 10 и поданы на выход устройства, что подтверждается расчетными значениями выборок x_y .

При разработке аппаратной модели вычислителя было предложено реализовать арифметический блок вычислителя на основе конечного автомата модели Мура, который представлен композицией операционного и управляющего автоматов. В соответствии с математической моделью устройства разработана содержательная граф-схема алгоритма, описывающая принцип его работы (Рис. 3).

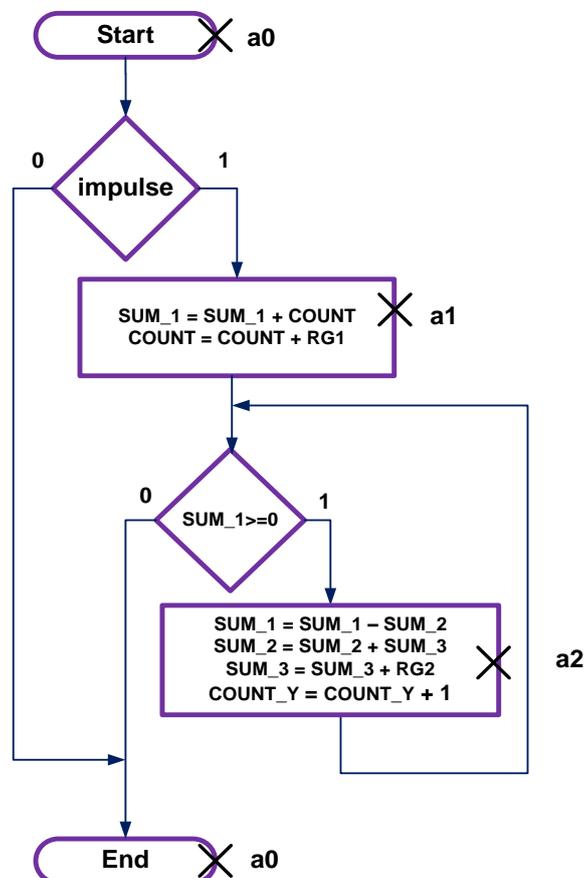


Рис 3. Граф-схема алгоритма работы устройства

Управляющий автомат описывается графом переходов, который получен в результате синтеза ГСА для автомата модели Мура. Граф переходов имеет 3 состояния: a0, a1, a2 (Рис. 4).

3. По сигналу reset = 1 автомат переходит в исходное состояние a0 и находится в этом состоянии до тех пор, пока не появится сигнал impulse с выхода детектора импульса. С приходом сигнала impulse автомат переходит в состояние a1.

В состоянии a1 если значение суммы $SUM1 \geq 0$, автомат перейдет в состояние a2, если $SUM1 < 0$, автомат перейдет в состояние a0. Автомат находится в состоянии a2, если значение $SUM1 \geq 0$. Если значение суммы $SUM1 < 0$, автомат перейдет в состояние a0. Также автомат выдает сигнал для формирования выходного бита устройства у.

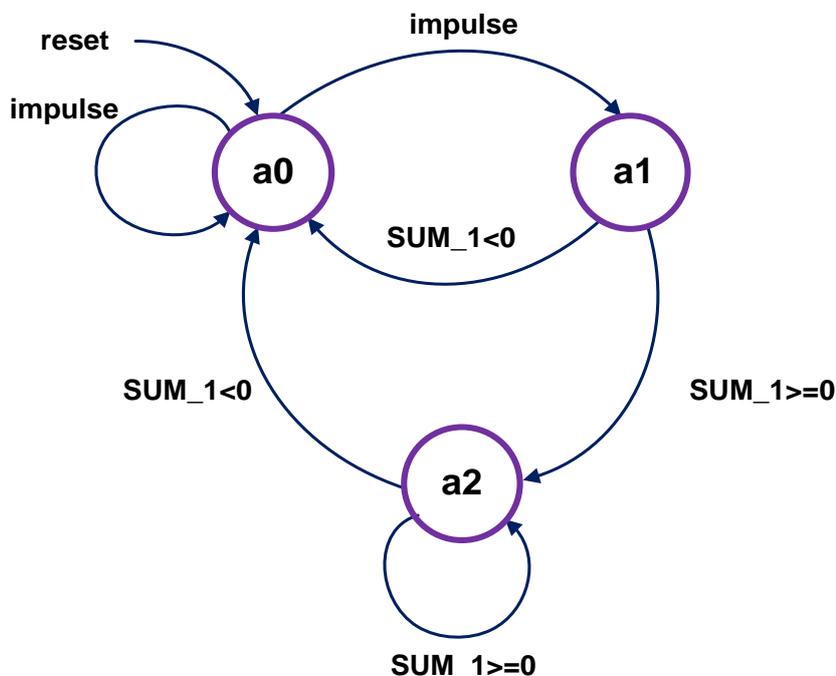


Рис. 4. Граф переходов управляющего автомата арифметического блока

В качестве эффективной среды моделирования и верификации проектов на платформе FPGA выбран программный пакет Active-HDL, позволяющий автоматизировать процесс ввода проекта в САПР. Аппаратная модель устройства разработана на языке VHDL с использованием автоматной модели описания.

На Рис. 5 представлена waveform, с результатами моделирования поведенческой модели бит-поточкового online вычислителя степенной функции, которая показывает, что значения в регистре компонента SUM1 совпадают с расчетными данными вычислительного процесса

и появление выходных битов устройства у соответствует номерам выборок x_y.

В качестве эффективной элементной базы для имплементации устройства выбрана платформа FPGA, обеспечивающая гибкость реконфигурации, высокое быстродействие, технологическую надежность. Для синтеза бит-поточкового вычислителя использована платформа Xilinx SPARTAN 3E серии XC3S100E, в которой было задействовано приблизительно 6% ресурсов. Используются 24-разрядные компоненты SUM1, SUM2 и 16-разрядные компоненты Count, SUM3.

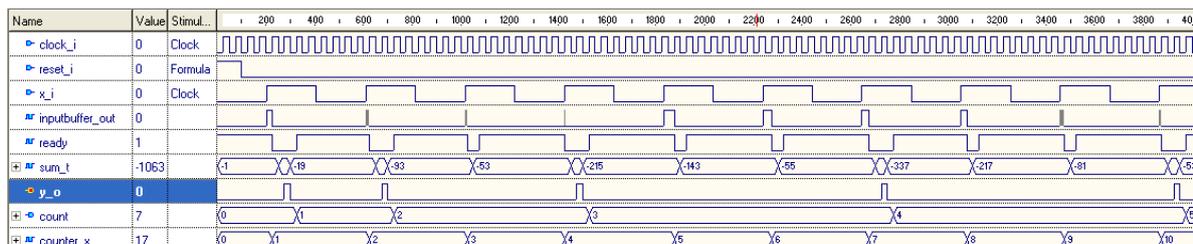


Рис. 5. Результаты моделирования поведенческой модели бит-поточкового вычислителя степенной функции

5. Выводы

1. Получена усовершенствованная математическая модель бит-потокowego online вычислителя степенных функций, на основе предложенного ранее метода формирования приращений возрастающих ступенчатых функций, обеспечивающий принцип выборки определенной части битов из входного битового потока данных. Математическая модель устройства описана системой разностных неравенств, при выполнении каждого из которых на выходе устройства формируются биты выходного потока данных, соответствующие узлам аппроксимации воспроизводимой функции. При этом абсолютная погрешность воспроизведения степенной функции составляет половину единицы младшего бита аргумента.

2. На основе математической модели степенного вычислителя была получена более простая архитектура по сравнению с аналогом, что позволила упростить техническую реализацию и уменьшить аппаратные затраты. В устройстве использован потоковый метод online вычислений с параллельно-последовательным выполнением преобразований над входным битовым потоком.

3. В качестве основного компонента сравнения использован накапливающий сумматор, сравнивающий в параллельных кодах приращения двух одновременно воспроизводимых степенных ступенчатых функций, приращения одной из которых подаются в сумматор посредством битов входного битового потока в прямом коде, а приращения другой функции – его выходными битами в дополнительном коде.

4. На основании полученной математической модели и архитектуры устройства предложена его аппаратная модель. Арифметический блок вычислителя реализован на основе конечного автомата модели Мура и представлен композицией операционного и управляющего автоматов.

5. Аппаратная реализация выполнена путем построения модели на языке описания аппаратуры в синтезируемом подмножестве VHDL и последующем синтезе инструментальными средствами САПР Xilinx. Модель устройства имплементирована в Xilinx Spartan FPGA.

Список литературы:

1. Dhafer Al-Makhles, Nitish Patel, Akshya Swain. Bitstream control system: Stability and experimental application // Intern. Conf. on Appl. Electronics. Czech Republic, Pilsen, 2013. P. 1–6.

2. Буренева О.И., Жирнова О.А. Бит-потокоевое

устройство извлечения квадратного корня. // Известия ЛЭТИ, 2019, №2, С. 26 – 32. [Bureneva O.I., Zhirnova O.A. Bit-potokovoye ustroystvo izvlecheniya kvadratnogo kornya. Izvestiya LETI. №2, 2019, pp. 26 – 32. (in Russ)]

3. Peng Li, David J. Lilja, Weikang Qian, Marc D. Riedel, Kia Bazargan. Logical Computation on Stochastic Bit Streams with Linear Finite-State Machines. // IEEE Transactions on Computers, Vol. 63, No 6, 2014.

4. A.I. Gulin, N.M. Safyannikov, O.I. Bureneva, A.Yu. Kaydanovich. Assurance of Fault-Tolerance in Bit-Stream Computing Converters // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018). Kazan, Russia, September 14 – 17, 2018. – pp. 418 – 421.

5. A. S. Shkil, L. V. Larchenko, B. D. Larchenko. Bit-Stream Power Function Online Computer // Proceedings of 18 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020). Varna, Bulgaria. September 4 – 7, 2020 – pp.423–428.

6. Сафьянников Н.М., Буренева О.И. Следящий потоковый вычислительный преобразователь для интеллектуальных измерительных систем // Международная конференция по мягким вычислениям. 2019. Т.1. С 263-266. [Saf'yannikov N.M., Bureneva O.I. Sledyashchiy potokovyy vychislitel'nyy preobrazovatel' dlya intellektual'nykh izmeritel'nykh system. Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam, 2019, T.1, pp. 263-266.

7. Стахів М.Ю. Автореф. дисертації. Цифрові функціональні перетворювачі розгортуючого типу з покращеними характеристиками // Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2013. 21 С. [M.YU. Stakhiv Avtoref. dysertatsiyi. Tsyfrovi funktsional'ni peretvoryuvachi rozhortuyuchoho typu z pokrashcheny myagkimy kharakterystykamy. Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «L'viv'ska politekhnik», 2013. 21 p. (iv Ukr)]

8. Авторское свидетельство СССР №1575176, М. кл. G 06 F 7/552, 1990. [USSR author's certificate No. 1575176, M. class. G 06 F 7/552, 1990.]

9. Ларченко Л.В., Кулак Е.М., Ларченко Б.Д. Функціональне перетворення імпульсних потоків в апаратних обчислювачах математичних функцій // Радіоелектроніка та інформатика. 2019. №3. С.27-34. [L.V. Larchenko, E.M. Kulak, B.D. Larchenko. Functional conversion of pulse streams in hardware mathematical functions computer, Radioelectronics and Informatics, №3, 2019, pp. 27-34. (iv Ukr)]

*Lukiyanchuk A.A.**research officer**Military institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv***PARAMETRIC MATHEMATICAL MODEL OF SEISMOACOUSTIC MONITORING****ПАРАМЕТРИЧНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СЕЙСМОАКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

Summary. In modern conditions it is necessary to create automated monitoring systems for detection and identification of the investigated objects, in order to designate their nature and obtain information. It is also necessary to create mathematical models and algorithms for detection and identification. This article proposes a mathematical model for identification of the investigated objects in the study of seismic records of explosions. Object identification tasks are associated with decision making problems. When choosing a mathematical model, it is necessary to choose a space of informative features, so as to reduce the possibility of errors. The choice of model is also determined by the possibility of its application in the signal stream generated by a series of explosions.

Анотація. В сучасних умовах необхідно створювати автоматизовані системи моніторингу виявлення та ідентифікації досліджуваних об'єктів, з метою отримання інформації та прийняття рішення об їх характері. Для рішення цих задач необхідно створювати математичні моделі та алгоритми виявлення та ідентифікації. В даній статті пропонується математична модель ідентифікації досліджуваних об'єктів, при вивченні сейсмічної записи вибухів. Задачі ідентифікації об'єктів сопряжені з проблемами прийняття рішення. При виборі математичної моделі необхідно вибрати простір інформативних ознак, таким чином, щоб знизити ймовірність помилок. Вибір моделі, так же обумовлюється можливістю її застосування в потоці сигналів, генеруємих серією вибухів.

Key words: model, seismoacoustics, monitoring, superposition of oscillators.

Ключевые слова: модель, сейсмоакустика, мониторинг, суперпозиция осцилляторов.

Formulation of the problem. Protection against uncontrolled border crossing, crossing of friendly forces locations, high-risk and life-support facilities, military and vital facilities, lines of demarcation of opposing forces and demilitarized zones in order to prevent the penetration of reconnaissance and sabotage groups on the own territory, as well as to identify underground passages, reconnaissance of the most likely enemy redeployment routes and deployment of troops (units) is an urgent problem during the anti-terrorist operation. The following tasks can be solved by using remote reconnaissance systems based on reconnaissance and signaling devices. The analysis of existing reconnaissance and signaling devices [1, 2] shows that one of the possible options is the usage of seismic-acoustic monitoring systems for the effective solution of such problems. Information technologies for remote passive seismic-acoustic reconnaissance is based on modern approaches to seismic-acoustic monitoring. Seismic monitoring differs with its own specific frequency range covering the seismic (infrasound and lower part of the sound range). It is necessary to use modern mathematical models of seismic-acoustic monitoring to create such seismic-acoustic monitoring systems.

Analysis of recent researches and publications.

It is usually assumed that the surface of the earth is bordered with vacuum and the corresponding boundary conditions on the free surface are introduced during the mathematical modeling of seismic waves spreading after the explosions or other artificial influences [3]. At

the same time, the effect of acoustic-gravitational waves generation by seismic waves in an inhomogeneous atmosphere and their interaction during propagation at the Earth-Atmosphere boundary is neglected. There is a large number of works [4, 5], devoted to mathematical modeling of acoustic-gravitational waves spreading in the atmosphere from natural and artificial sources. Historically, it is devoted to the development of an acoustic (infrasound) method for aerial nuclear and chemical explosions monitoring. In order to solve these problems, the Earth-Atmosphere boundary was approximated by an absolutely reflective boundary, that excludes the effects of seismic waves generation in the Earth's crust.

However, as the theoretical and practical works of recent decades show, there is a high degree of connection between wave processes in the lithosphere and atmosphere. Air affects the reflection coefficients of seismic waves very slightly, while the effect of air on the evanescent (inhomogeneous) elastic waves can be very significant. For example, the effect of acoustic-seismic induction was experimentally recorded by Alekseev A. S. and Glynskyi V. M. [6]. It consists in the fact that an acoustic wave from a powerful vibrator due to the phenomenon of refraction in the atmosphere excites intense surface seismic waves at a distance of several tens of kilometers. Seismic waves in the lithosphere from earthquakes and explosions generate acoustic-gravity waves in the atmosphere. Due to the exponential decrease in the density of the atmosphere with height, the amplitude of the acoustic-gravity

waves in the upper atmosphere and ionosphere increases significantly. This leads to fluctuations in the density of ionized particles.

Highlighting of previously unsolved topics of a common problem. Seismoacoustic monitoring is a mode observation with the purpose to detect and identify signals against a background of seismic noise in the seismic acoustic frequency range. The purpose of the processes for detecting and evaluating a seismic signal against a background of microseismic noise is to investigate the differences between signals and noise in order to improve the detection ability. Depending on the type of seismic signal, various detection methods may be used. We will consider the detection processes operating on one recording channel and the registration of their three-component station. For a comprehensive review of this area, we can refer to Dahlman O., Israelson H., Robinson, E. A., Van Trees, H. L., Mostovoy V.S. [8-11]. In single-channel signal detection, detection is still often done visually. So far, there is no more reliable method than eye treatment. In this approach, the goal is to detect visually a change in the frequency or amplitude of the recording, or both at the same time. The mathematical models considered in the article are oriented toward automatic detection in the records of single stations when these records were pre-processed by subtracting a significant part of the noise energy [12]. The procedure is based on evaluating the ratio of short-term signal power to long-term power for a long time [13]. If the ratio exceeds the set level, then a detection has occurred, this algorithm is used when deciding on the presence of a signal and a rough estimate of the moment of its entry.

A commonly used technique for filtering observed data is based on information about the ratio of noise energy to signal. In addition, the spectral composition of seismic signals often differs from the spectral

composition of noise, and therefore, in this case, a comparison of the spectral components is proposed as a possible method to obtain optimal filtering. Noise suppressing filters can be useful in cases where only signal characteristics are known. We can distinguish the type of noise-canceling filter when noise is predicted from the history of the signal-free process and removes the predicted noise in fragments where signals are expected to appear. These filters are often called prediction error filters [10]. They require a high degree of noise immunity. Even so, error prediction filters are usually less efficient than conventional bandpass filters [14].

The purpose of the article. In order to solve the above mentioned problems, it is necessary to build a mathematical model that will allow you to display the recorded data in the space of informative parameters, to detect the signal and its identification. In this article, we consider a model of superposition of oscillators.

The Study. Mathematical model. A model is considered for the observed data in a field experiment, which consists of the fact that passive monitoring measured the natural background of an object of the type in the seismic frequency range.

$$= \{y_k(t)\}_{k=\overline{1, K}} \quad (1)$$

k is the number of the sensor that detects vibrations, K is the number of sensors, in our case $K = 2$, ($k = 1$ in the vertical plane and $k = 2$ in the horizontal plane).

Physical ideas about the nature and nature of object oscillations and allowance for the multimodality of its spectrum make it possible to put forward a hypothesis about the possibility of modeling it by a superposition of oscillators with damping.

$$y_k(t) = \sum_{s=1}^S A_{ks} \exp\{-\alpha_{ks}t\} \sin(\omega_{ks}t + \psi_{ks}) + n_k(t), k = \overline{1, K} \quad (2)$$

Here $\{A_{ks}, \alpha_{ks}, \omega_{ks}, \psi_{ks}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K}\}$ - is the set of free model parameters, $n_k(t)$ - is the additive noise in the measurements of the k -th sensor. S - is the number of considered subtypes of the same type, the superposition of which models the process $y_k(t), k = \overline{1, K}$.

The task is to optimally determine the free parameters of the model for each of the K responses of the form (2). We introduce an optimality criterion that characterizes the degree of proximity of the model to the observed data in the selected metric. Figure 1.1 shows two components of the observed data. The criterion chosen by us is a functional for each of the sensors:

$$F_k(\Pi_k) = \left\| \left(\sum_{s=1}^S A_{ks} \exp\{-\alpha_{ks}t\} \sin(\omega_{ks}t + \psi_{ks}) \right) - y_k(t) \right\|_{L_2[0, T]}^2, k = \overline{1, K} \quad (3)$$

here in the matrix Π_k the free parameters of the model are shown, the model describes the measurement result by the sensor with number k . The S column in this

matrix is the vector of free parameters $\Pi_k^{(S)}$ of the same type submodel with number S .

The optimal solution to the model is the global minimum point of functional (3) on the corresponding

set of allowable values of the model's free parameters. The global minimum was found on the set of local minima, which were calculated in the vicinity of the "ejected" by the Monte Carlo method, according to a priori distributions, of the parameters.

Fixing S , we reduce the matrix Π_k , with a $4 \times S$ dimension, into a vector

$$M(t, P_k) = \sum_{S=1}^S P_{k,1+4(S-1)} \{ \exp[-P_{k,2+4(S-1)} t] \} \sin \left[\left(P_{k,3+4(S-1)} (t - P_{k,4+4(S-1)}) \right) \right] \tag{4}$$

To determine the extremum points of the agreement criterion $F_k(P_k)$ of the model with the observed data in the space $L_2[0, T]$, we look for $\min_{P_k \in u_k} F_k(P_k)$, (where u_k - is the set of permissible values of P_k). It should be noted that the choice of the set P_k is subjective and is determined by the researcher's ideas about the experiment and the corresponding model $M(t, P_k)$. The set P_k should be chosen so that the solution to the problem $\min_{P_k \in u_k} F_k(P_k)$ is reached at the internal point of the set P_k . Then, to solve the problem $\min_{P_k \in u_k} F_k(P_k)$ we consider a vector function consisting of partial derivatives of the model and equate it to the zero vector for each $k = \overline{1, K}$.

Solving this system of equations, we look for local extrema of the criterion for each of the sensors. Next,

$$P_k = \{P_{k,j}\}, j = \overline{1, 4S}$$

that is the components of the vector P_k - are the free parameters of the model; the dimension of this vector is $4S$ so the first 4 elements of the vector are the parameters of the first submodel, the next four are the second and so on. The choice of the number of harmonics depends on the object of study.

from the set of these extremes, we select the global minimum point of each of the criteria (2) (for each of the sensors).

To determine the optimal estimates of vector (4) in model (2), a criterion of the form (3) was used for each sensor, the minimum of which was determined by the variational method. The global minimum of the functionals $F_k(P_k)$, $k = \overline{1, K}$ given by equations (3) on the set of admissible values of the vectors $P_k - u_k$, corresponded to the optimal values of the model parameters.

When studying the sequence of mortar explosions, statistics were collected, which allowed the processing procedure to be carried out according to the model of active monitoring with a physically feasible signal [15, 16, 17, 18]:

$$S(t) = \begin{cases} A_0 e^{\alpha_0 t} \sin \omega_0 t + \sum_{k=1}^n A_k e^{\alpha_k t} \sin \omega_k t \\ 0, t \notin (t_0, \infty) \end{cases} \tag{5}$$

Here $A_0 \cdot e^{\alpha_0 t} \sin \omega_0 t$ is the dominant harmonic, and $\sum_{k=1}^n A_k e^{\alpha_k t} \sin \omega_k t$ - is the superposition of the other harmonics. And the process model: $y(t) = S(t) + n(t)$, $n(t)$ - is a random process associated with unaccounted natural frequencies of the object, natural background, inadequacy of the selected model. In formula (5) α_0 is the time constant of the process decaying at the dominant natural circular frequency of the structure ω_0 . A_0 - is the amplitude of

the initial deviation of the object. t_0 - is the time of experiment registration. Correspondingly α_k is the time constant of the process decaying at the k natural circular frequency of the structure ω_k . A_k - is the amplitude of the k 's oscillator. The vector of free parameters of model (5) - $\alpha_k, \omega_k, A_k, k = 0, \dots, n$, is determined in the space of informative features, its value characterizes the explosion belonging to the set of identification of explosions.

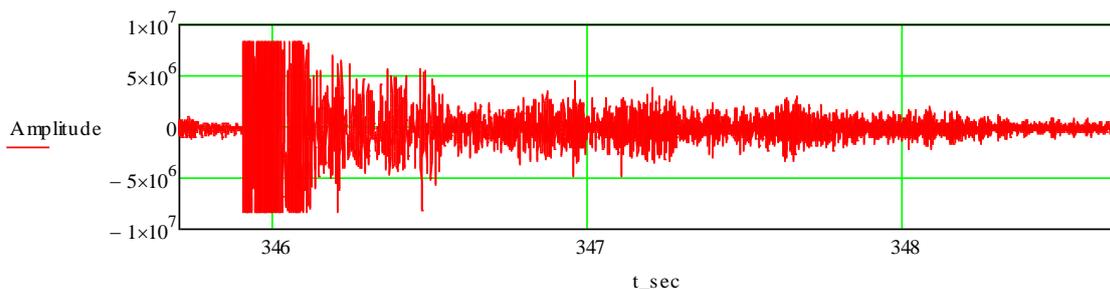


Figure 1 The record of the vertical component of one mortar explosion to apply the active monitoring model (5).

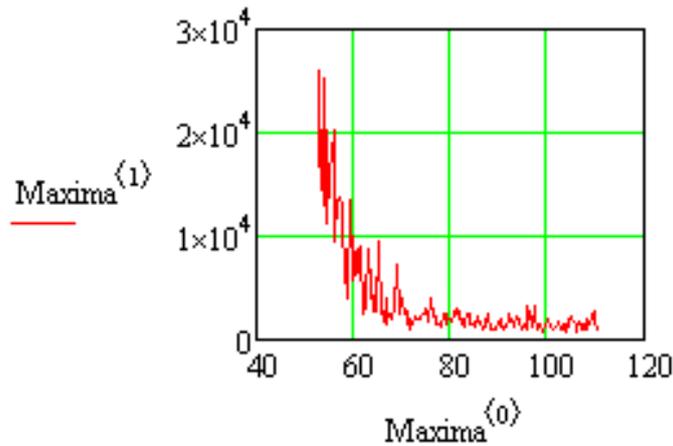


Figure 2 The curve of local maxima of the vertical component of one mortar explosion.

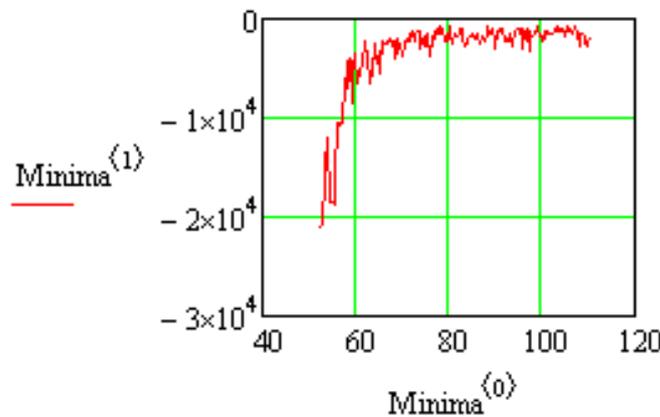


Figure 3 The curve of local minima of the vertical component of one mortar explosion..

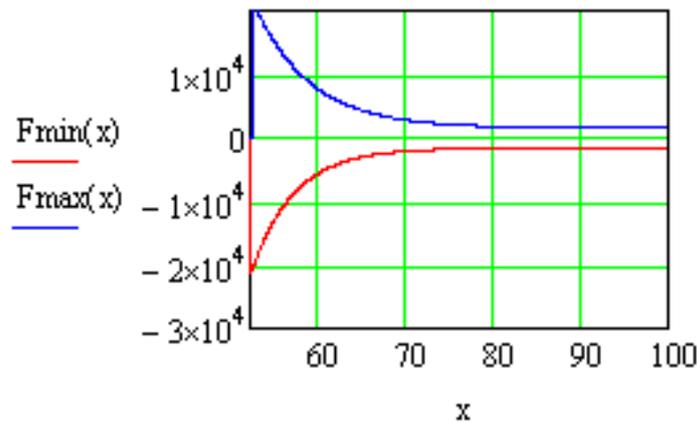


Figure 4 Exponents with optimal, in the sense of minimum deviation from the curves of local maxima and local minima in the metric L_2 , parameters.

Figure 1 shows a record of the active monitoring model (5). Figure 2 shows the curve of local maxima of the process $y(t)$, and Figure 3 shows curve of local minima of this process. Figure 4 shows the exponents with optimal, in the sense of the minimum deviation from the curves of local maxima and local minima in the metric L_2 , parameters. The parameter α , as an average for two exponentials is 0.179. This value enables us to determine the logarithmic decrement at the fundamental natural frequency of the surface

oscillations from the mortar explosion. In the definition of a logarithmic decrement we will follow Panovko Y. G. [19]. By the logarithmic decrement D we mean the natural logarithm of the ratio of two consecutive maximum amplitudes $\frac{A(t)}{A(t+T)}$ of deviations separated by the time interval T . T – (here) is the oscillation period, means $\ln \left(\frac{A(t)}{A(t+T)} \right)$.

Conclusions and proposals. The usage of seismoacoustic systems will eliminate the loss of personnel (due to the ability to conduct reconnaissance remotely at a safe distance). Seismoacoustic systems can be an element of the counter-battery reconnaissance system. The modern level of development of information sensors and the developed algorithmic support make possible the creation of integrated reconnaissance and information systems that have wide capabilities for solving various military tasks. The proposed approach to the formulation and solution of the considered problem allows us to simulate the effects of wave field spreading for a single mathematical model Earth-atmosphere and to study the processes of the waves occurrence at their boundary. Numerical modeling of such processes also allows us to study the features of the influence of wind, the velocity vector displacement, pressure and changes in air density.

To detect and identify the source of the explosion, it is necessary to choose a space of informative features characterizing the source of the explosion; to create a mathematical model within the framework of the chosen space of informative features. Using this model we can display the recorded explosion in the selected space of informative features, build a decision criterion on whether the source of the explosion belongs to a predetermined set of sources, thus, classifying the source of the explosion. Of course, it is necessary to take into account the fact that the system must work with a stream of signals generated by many explosions of various sources during the creation of the mathematical model for identifying the source of an explosion, even when studying a single explosion.

Bibliography:

1. The Military and Civil Aviation Passive Radar Market: 2013 – 2023 [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: http://www.researchandmarkets.com/reports/2598562/the_military_and_civil_aviation_passive_radar#pos-0.
2. Sochetanie datchikov: uluchshenie situatsionnoy osvedomlennosti. Inostrannaya pechat ob ekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom i voennom potentsiale gosudarstv-uchastnikov SNG i tehnikeskikh sredstvah ego vyiyavleniya. // *Tehnicheskoe osnaschenie spetssluzhb zarubezhnyih gosudarstv*. – 2013.
3. Petrova A. A. *Teoreticheskaya gidrodinamika* / A. A. Petrova, P. N. Chushkina., 1964. – 369 s.
4. Francis S. H. Global propagation of atmospheric gravity waves / S. H. Francis. // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. – S. 1011–1054.
5. Gossaro E. H. *Waves in the Atmosphere* / E. Hooken Gossaro., 1975. – 532 s. – (Elsevier Scientific Publishing Company).
6. Alekseev A.S. *Effekt akustoseysmicheskoy induktzii pri vibroseysmicheskom zondirovanii* / A. S. Alekseev, V. M. Glynskiy., 1996. – 664 s. – (DAN).
7. Artru J. Ionospheric detection of gravity waves induced by tsunamis / J. Artru, V. Ducic., 2005. – (*Geophys. J. Int.*). – (840-848).
8. Dahlman O. *Monitoring Underground Nuclear Explosions*. Amsterdam-Oxford-New York / O. Dahlman, H. Israelson., 1977. – 440 s.
9. *Statistical communication and detection with special reference to digital data processing of radar and seismic signals* – London. – 362 s. – (Charles Griffin and Co. Ltd.).
10. Van Trees H. L. *Detection, estimation and modulation theory* / H. L. Van Trees. – New York. – 647 s. – (Part I. John Wiley & Sons Inc.).
11. Mostovoy V.S. *Optimalnyie otsenki parametrov mikroseyismicheskogo fona*. DAN
12. Frasier C. W. Single-channel event detector in real time. In: *Seismic Discrimination, Semiannual Technical Summary to the Advanced Research Projects Agency* . / C. W. Frasier., 1975. – 51 s. – (Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory).
13. Gjoystdahl, H. & Husebye, E.S., 1972. A comparison of performance between prediction error and bandpass filters. *NTNF/NORSAR, Kjeller, Technical Report No, 43*.
14. Capon, J., Greenfield, R.J., Kolker, R.J. & Lacoss, R.T., 1968. Short period signal processing results for the large aperture seismic arrays. *Geophysics*, 33:452–472.
15. Dahlman O. *Monitoring Underground Nuclear Explosions* / O. Dahlman, H. Israelson // Amsterdam-Oxford-New York, 1977. 440 p.
16. Van Tris G. *Teoriya obnaruzheniya, otsenok i modulyatsii*. M.: Sovetskoe radio, 1972. — 744 s.
17. Estimation of the seismic waves parameters / V. S. Mostovoy, S. V. Mostovyi // *DopovIdl NatsionalnoYi akademIYi nauk UkraYini*. - 2014. - # 2. - P118-123.
18. V. S. Mostovoy, S. V. Mostovyi *Mathematical model of seismic signal, as a flow of physically non realizable single seismic waves* // *Geophysical journal* – 2016. Vol. 38, # 5, p. 166-169.
19. Panovko Ya. G. *Vvedenie v teoriyu mehanicheskikh kolebaniy*. Moskva, «Nauka», 1971, 240 s, 45 s.

Shevchenko O.Yu.*Assistant of the Design Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics***Hahanov I.V.***PhD Student of the Design Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics***Hahanov V.I.***Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Design Automation Department,
Kharkiv National University of Radioelectronics*

SEARCH AND ANALYSIS OF DATA BASED ON SIMILARITY-DIFFERENCE METRIC

Шевченко Ольга Юрьевна*ассистент кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники***Хаханов Иван Владимирович***аспирант кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники***Хаханов Владимир Иванович***доктор технических наук,
профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

ПОИСК И АНАЛИЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТРИКИ СХОДСТВА–РАЗЛИЧИЯ

Summary. Models, methods and algorithms for cyber-social computing, machine learning are proposed that use the similarity-difference metric of unitary coded information for processing big data in order to generate adequate actuator signals for controlling cyber-social critical systems. A set-theoretic method of data search is being developed based on the similarity – difference of the frequency parameters of primitive elements, which makes it possible to determine the similarity of objects, the strategy of transforming one object into another, and also to identify the level of community of interests, conflicts. Computational architectures of cyber-social computing and metric search for key data are being created. The definitions of the fundamental concepts in the field of computing are given on the basis of metric relations between interacting processes and phenomena. A software application is proposed for calculating the similarity-differences of objects based on the formation of frequency vectors of two sets of primitive data. A high level of correlation of the application results with the well-known system for determining plagiarism is shown.

Аннотация. Предлагаются модели, методы и алгоритмы киберсоциального компьютеринга, машинного обучения, использующие метрику сходства–различия унитарно кодированной информации для обработки больших данных в целях выработки адекватных актюаторных сигналов для управления киберсоциальными критическими системами. Разрабатывается теоретико-множественный метод поиска данных на основе сходства–различия частотных параметров примитивных элементов, что дает возможность определять подобие объектов, стратегию трансформирования одного объекта в другой, а также идентифицировать уровень общности интересов, конфликтности. Создаются вычислительные архитектуры киберсоциального компьютеринга и метрического поиска ключевых данных. Даются определения основополагающих понятий в области компьютеринга на основе метрических отношений между взаимодействующими процессами и явлениями. Предлагается программное приложение для вычисления сходства-различия объектов на основе формирования векторов частотностей двух множеств примитивных данных. Показывается высокий уровень корреляции результатов работы приложения с известной системой определения плагиаризма.

Key words: computing, cybersocial computing, decision making, unitary data codes, similarity – difference, data retrieval, plagiarism.

Ключевые слова: компьютеринг, киберсоциальный компьютеринг, принятие решений, унитарные коды данных, сходство–различие, поиск данных, плагиаризм.

1. Мотивация и постановка задач исследования

Критическая система представляет собой совокупность взаимосвязанных в киберфизическом пространстве и времени отношений (целостности и единства) между компонентами для достижения

поставленной цели, отказы которых приводят к значительным экономическим, политическим, социальным, экологическим и гуманитарным (материально-энергетическим и пространственно-временным) потерям. Примерами критических систем выступают технологические и технические

объекты в отраслях: энергетика, транспорт, индустрия, вооружение, киберсоциальная сфера, банкинг, интернет, государственность, юриспруденция. Однозначно ученые и специалисты пришли к выводу, что порядка 80 процентов всех отказов в критических системах связано с непредназначенностью человека к управлению любыми системами или объектами, включая самого себя. Человек есть всегда лишь исполнитель. Следовательно, необходимо исключить его из цикла мониторинга-управления, по меньшей мере, критическими процессами и явлениями, путем передачи полномочий по принятию решений детерминированному и практически безошибочному компьютерингу: сетевому, облачному, терминальному. Выигрывает тот, кто своевременно превращает физическое и социальное пространство в оцифрованные процессы и явления для точного мониторинга и управления желательно без участия человека. Поэтому управление кадрами в критических системах любой природы пока остается самой главной проблемой человечества, решение которой связано с сохранением планеты, пригодной для жизни людей [1-3].

Компьютерная инженерия есть отрасль знаний, которая занимается теорией и практикой

проектирования, тестирования производства и эксплуатации защищенных программно-аппаратных масштабируемых вычислительных средств для надежного метрического управления виртуальными, физическими и социальными процессами и явлениями путем использования интеллектуальных облачных и телекоммуникационных сервисов на основе цифрового мониторинга киберфизического пространства с помощью персональных гаджетов и встроенных умных сенсоров. Здесь компьютеринг, как глобальная методология, которую имеет и компьютерная инженерия, есть стратегия достижения и визуализации поставленной цели – создания продукции и/или сервисов при заданных ресурсах, которая системно представляется процессом мониторинга и актуации метрических отношений в замкнутой инфраструктуре управления и исполнения.

Компьютеринг системно может быть представлен (рис. 1) процессом мониторинга (5) и актуации (6) метрических отношений (2) в инфраструктуре управления (3) и исполнения (4) для достижения и визуализации (8) поставленной цели – продукции и/или сервисов (1) при заданных ресурсах (7).

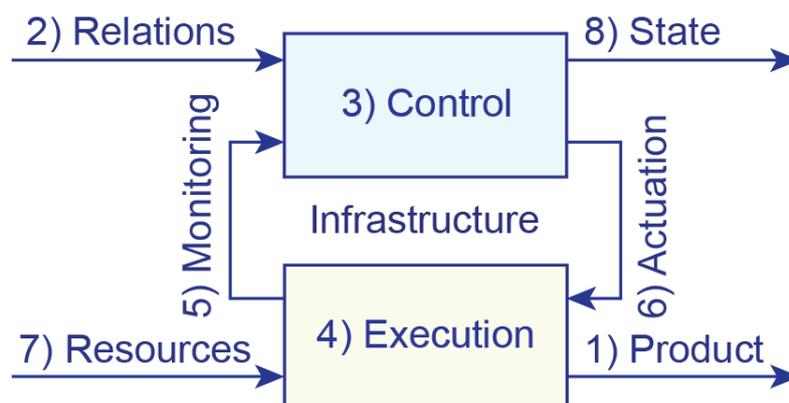


Рисунок 1. Компьютеринг критической системы управления персоналом

Метрическое и структурное определение компьютеринга посредством восьми взаимосвязанных компонентов представляет теоретическую фундаментальную основу для формального и фактического создания системы цифрового управления любым процессом в заданной сфере человеческой или природной деятельности. Виды компьютеринга по введенной метрике охватывают все сферы человеческой деятельности: космологический, биологический, флористический, физический, виртуальный, квантовый, социальный, государственный, медицинский, транспортный, инфраструктурный, научный, образовательный, производственный, спортивный, отдыха, путешествий, развлечений. Естественно, что в первую очередь компьютеринг ориентирован на мониторинг и управление критическими объектами, процессами и явлениями без- или с минимальным участием человека.

Мобильность граждан порождает интересные альтернативные предложения со стороны существующих государственных, которые все более борются за кадровые ресурсы планеты по метрике: самые умные и самые дешевые. Здесь каждый человек также приобретает право альтернативного выбора (рис. 2), формирующего качество жизни для работника по метрике отношений: уровень зарплаты, языковая культура, традиции, история, питание, инфраструктура, транспорт, климат, политическая стабильность, социальные льготы, здравоохранение, налоговое законодательство. Очевидно, что финансовые потоки от граждан в альтернативные государственности прямо пропорциональны упомянутой метрике отношений к человеку со стороны власти. Сегодня в соревновании за работника участвуют, как минимум, две и более государственных. Выигрывает та, которая

предлагает лучшие условия для жизни и творчества. Другая постепенно самоуничтожается.

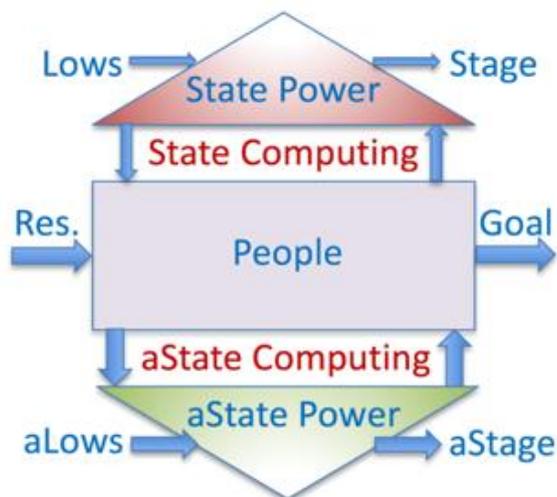


Рисунок 2. Альтернатива слабой государственности

Возникает конкурентоспособный строго метрический интерактивный компьютерный рынок талантливых работников и государственных, где каждый гражданин планеты выбирает крышу, наиболее благоприятную для творчества и отдыха, а социальная система – лучших, креативных и здоровых исполнителей. Качество продукции (сервиса, процесса или явления) – совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Метрика качества критической системы определяется параметрами: надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, тестопригодность, управляемость, наблюдаемость, диагностируемость, обслуживаемость, контролепригодность, безопасность и живучесть. Что касается критических ситуаций и отказов, то в настоящее время в киберфизическом пространстве имеется исчерпывающая информация о любом негативном процессе или явлении, которое можно

предотвратить средствами интеллектуального облачного и edge computing мониторинга–управления, что составляет сущность critical system computing (рис. 3). Здесь два вычислителя (облачный и терминальный) обслуживают критическую систему с помощью сенсорных датчиков и актюаторов. Естественно, что облачный компьютерный является инвариантным по отношению ко времени и геопозиции критического объекта, например, автомобиля (Synopsys, GMC, Tesla). Качество и надежность здесь обеспечиваются стандартами: JTAG IEEE 11.49, SECT IEEE 1500, JTAG IEEE 1687, ISO 9001. Технологии граничного сканирования упомянутых стандартов создают дополнительные линии и spare-компоненты, позволяющие достичь высоких уровней качества и надежности за счет online тестирования и восстановления работоспособности критических систем с использованием встроенных средств BIST и облачных test services.

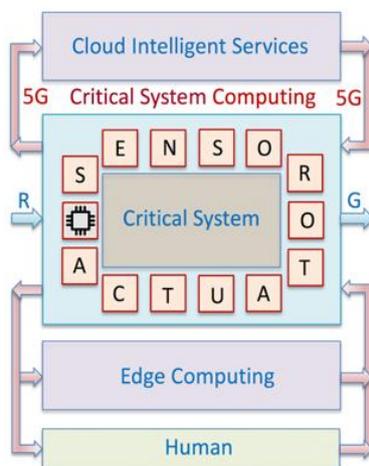


Рисунок 3. Компьютинг критической системы

Естественно, только компетентный оператор имеет возможность вмешиваться в работу критической системы посредством терминального компьютера. Для этого исчерпывающий мониторинг компетенций каждого человека достаточно просто осуществить с помощью поисковых и специальных приложений в целях последующего принятия актуальных решений о назначении работника на функциональную позицию, что составляет сущность *personnel computing* или *HR-Management*. Для измерения компетенций работников, представленных векторами переменных, используется метрика Левенштайна, которая дает возможность определить сходство–различие между претендентами и образцовым паттерном, а также квази-оптимальные маршруты трансформирования одной метрики-модели в другую.

2. Цель и задачи исследования

Цель исследования – уменьшение экономических, технологических и социальных

потерь, связанных с минимизацией отказов в критических системах за счет повышения компетенций сотрудников и последовательного исключения человека из процессов принятия решений на основе его замены детерминированными механизмами компьютинга, использующего цифровое интеллектуальное управление на основе метрического мониторинга киберсоциальных процессов и явлений.

Функция цели L – минимизация прямых D и косвенных потерь S , связанных с n -отказами и ремонтом R критических систем за счет затрат на разработку и обслуживание компьютинговых структур метрического онлайн принятия решений по цифровому управлению критическими процессами и явлениями на основе исчерпывающего точного мониторинга M , использования умной инфраструктуры I и квалифицированных сотрудников E , удовлетворяющих эталонным компетенциям по образованию, опыту и навыкам:

$$L = \min \sum_{i=1}^n (D_i + k_i \times S_i + R_i) \leftarrow (A + M + I + E) \leq G_{\min}.$$

Задачи, подлежащие решению, для достижения поставленной цели: 1) Разработать структурную модель компьютинга для интерактивного онлайн взаимодействия между человеком, критической системой и механизмами точного цифрового мониторинга–управления. 2) Разработать теорию и структуры данных для частотно–множественного метода определения подобия двух объектов. 3) Синтезировать алгоритм сходства–различия текстовых фрагментов. 4) Выполнить тестирование и верификацию метода на примерах.

3. Частотно–множественный метод определения подобия двух объектов

Технологическим ядром для решения практических задач управления персоналом в критических системах является киберфизический компьютинг, оформленный в структуры *Machine Learning* и *SCADA* – *Supervisory Control And Data Acquisition*. Такой компьютинг предполагает аналитику больших данных, которая использует примитивные теоретико–множественные операции, процедуры и алгоритмы параллельного действия в целях повышения производительности при поиске квазиоптимальных решений. Поэтому далее предлагается имплементация в программный код алгоритма и процедур для поиска данных по заданному паттерну путем сравнения, что дает возможность принимать адекватные управленческие воздействия в критических системах [1-4]. В мире поиск–компьютинга нет ничего кроме метрики сходства–различия [5-8]. Поэтому важно иметь эффективный специализированный процессор, как простейшее ядро, для параллельного и высокопроизводительного решения задач синтеза и анализа новых процессов и явлений [9]. Структурно, метрика сходства–различия двух

процессов, явлений, объектов, компонентов использует две формулы, оперирующие в бинарной алгебре логики двумя параллельными операциями *and*, *xor* для получения результирующих векторов:

$$S(a, b) = a_i \wedge b_i;$$

$$D(a, b) = a_i \oplus b_i.$$

Но такие формулы мало, что дают для знания отношений между процессами (явлениями), когда необходимо и очень важно определить общие структуры данных, чтобы понять, как трансформируются отдельные компоненты (координаты векторов) друг в друга при синтезе и анализе. Более того, здесь весь процесс синтеза находится в вычислительной зависимости от технологически совершенных структур данных. Нормированная метрика сходства–различия использует две формулы, также оперирующие в алгебре логики двумя параллельными операциями, но дополненные арифметикой подсчета единичных координат, полученных в результате выполнения логических операций. Кроме того, появляется общий знаменатель в виде дизъюнкции одноименных координат векторов, который служит интегратором разрозненных структур данных участвующих процессов в общий вектор именно и только существенных координат, относительно которых выполняется нормирование сходства и различия:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \wedge b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee b_i)},$$

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \oplus b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee b_i)}.$$

Например, два вектора $a=00111100$ и $b=10101010$, имеющие несущественные нулевые одноименные координаты, автоматически исключаются из нормированного оценивания, благодаря учету и подсчету только единичных значений в результирующих векторах:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (00111100 \wedge 10101010 = 001010000) = 2}{\sum_{i=1}^n (00111100 \vee 10101010 = 101111110) = 6} = 0,33;$$

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (00111100 \oplus 10101010 = 100101110) = 4}{\sum_{i=1}^n (00111100 \vee 10101010 = 101111110) = 6} = 0,66;$$

Естественно, нет нужды вычислять обе оценки по данным формулам. Достаточно определить одну из них, а вторую можно получить по формуле дополнения: $D(a, b) = 1 - S(a, b)$; $S(a, b) = 1 - D(a, b)$.

Здесь, отличием формируемой оценки от расстояния Хэмминга является исключение из метрики и структур данных условия существования двух нулей на координатах с одинаковыми адресами–индексами, что существенно повышает

адекватность измерения двух процессов. Что касается многозначной алгебры (теории множеств), где вместо алфавита $\{0,1\}$ выступают символы, буквы, цифры, слова, тексты, объекты, процессы, то сходство–различие, как правило, рассматривается в рамках метрики или расстояния Левенштайна. В нем фигурируют три элементарных операции: замена символов, вставка и удаление, которые трансформируют одно слово (процесс, явление) в другое. Предлагается другое решение определения сходства–подобия между словами, которое характеризуется синтезом унифицированной структуры данных, выравнивающей пары слов любой длины к одной размерности за счет выполнения единственной операции – вставки пустого символа. Как следствие, вычислительная сложность алгоритма для синтеза унифицированной структуры единой размерности сводится к поиску мест для вставки конечного числа $n=0,1,2,3,\dots$ пустых символов в целях выравнивания длины двух слов (объектов, процессов). В качестве примера далее рассматривается преобразование одного слова в другое путем вставки пустых символов:

C	O	N	D	U	C	T	I	O	N
B	O	N	D	I	A	N	A		

Выполнение алгоритма вставки пустых символов в целях получения минимального различия и максимального сходства при

трансформировании одного слова в другое дает результат:

C	O	N	D	U	C	T	I	O	N	–
B	O	N	D	–	–	–	I	A	N	A

Количество пустых символов для выравнивания двух слов равно четырем. После этого осуществляется тривиальный подсчет расстояния Левенштайна, которое равно числу координат, имеющих различные символы в метрике трансформации слов, что означает $D(a, b) = 6$, $S(a, b) = 5$. Таким образом, любую пару процессов или явлений можно привести к структурной метрике одинаковой длины в целях последующего подсчета нормированных оценок сходства–различия путем арифметического сложения выполнения логических условий в числителе и знаменателе:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i = b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i \neq \emptyset)};$$

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \neq b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i \neq \emptyset)}.$$

Для заданного примера трансформируемого взаимодействия пары слов нормированные оценки сходства–различия имеют вид:

$$S(a, b) = \frac{6}{11} = 0,55;$$

$$D(a, b) = \frac{5}{11} = 0,45.$$

Более сложная конструкция нормированного сходства–различия определяется не по равенству, а по принадлежности одной координаты вектор–слова другой координате второго вектора, если координаты представлены некоторыми множествами. В этом случае формулы для вычисления оценок будут иметь вид:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \cap b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)};$$

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \Delta b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)}.$$

Здесь полезными будут теоретико–множественные операции для алфавита Кантора, например, которые определены следующими квадратичными таблицами истинности:

\cap	0	1	X	\emptyset	\cup	0	1	X	\emptyset	Δ	0	1	X	\emptyset
0	1	0	0,5	0	0	1	1	1	0,5	0	0	1	0,5	0,5
1	0	1	0,5	0	1	1	1	1	0,5	1	1	0	0,5	0,5
X	0,5	0,5	1	0	X	1	1	1	1	X	0,5	0,5	0	1
\emptyset	0	0	0	0	\emptyset	0,5	0,5	1	0	\emptyset	0,5	0,5	1	0

Элементарные таблицы дают возможности привести теоретико-множественные операции к их нормам, сложение которых формирует точные оценки сходства–различия. Например, для следующих двух многозначных векторов $a=1XXX10X1$, $b=01X00XX1$, оценки сходства–различия, полученные по численным таблицам истинности, будут иметь вид:

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (1XXX10X1 \Delta 01X00XX1 = 1 + \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} + 0 + 0)}{\sum_{i=1}^n (1XXX10X1 \cup 01X00XX1 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1)} = 0,44.$$

Общая структура определения сходства–различия пары векторов за три векторных параллельных численных операции (\cap, Δ, \cup) представлена в следующей таблице:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (1XXX10X1 \cap 01X00XX1 = 0 + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{2} + 1 + 1)}{\sum_{i=1}^n (1XXX10X1 \cup 01X00XX1 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1)} = 0,56;$$

a	1	X	X	X	1	0	X	1
b	0	1	X	0	0	X	X	1
\cap	0	0,5	1	0,5	0	0,5	1	1
Δ	1	0,5	0	0,5	1	0,5	0	0
\cup	1	1	1	1	1	1	1	1

Таким образом, получены две оценки подобию, которые являются взаимно-дополняющими друг друга до 1: $S(a, b) = 0,56$; $D(a, b) = 0,44$. Координаты следующих векторов промежуточных вычислений также являются взаимно-

дополняющими до 1, что является условием валидации процесса определения сходства–различия:

\cap	0	0,5	1	0,5	0	0,5	1	1
Δ	1	0,5	0	0,5	1	0,5	0	0

Вычислительная сложность алгоритма синтеза структурной унифицированной метрики трансформирования одного слова в другое равна $Q = (m \times n)^2$.

4. Частотно–векторная модель и метод для вычисления подобию

Многозначная структура пары векторов, соответствующих множеству слов–примитивов

(T_i, T_j) , может быть использована для эффективного определения подобию текстовых фрагментов, а также вычисления уровня плагиаризма. Упрощенная диаграмма решения данной задачи с помощью трех векторных логических операций может быть представлена в виде рис. 4.

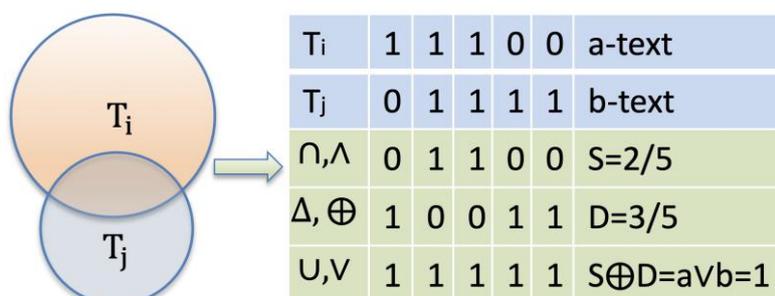


Рисунок 4. Диаграмма поиска подобию текстовых фрагментов

В координатах вместо единичных значений могут быть представлены слова или любые другие данные, фигурирующие в вектор–множествах (T_i, T_j) . Однако предварительное унитарное кодирование слов или предложений существенно

облегчает выполнение алгоритма определения сходства–различия. Следует заметить, что вместо двоичного кода координаты вектора могут быть отмечены частотностью слов или данных в форме действительных или целых чисел, а также

временными или другими параметрами компонентов, что не изменяет сущности алгоритма для метрического нормированного оценивания подобия текстовых фрагментов.

Характеристика метрики:

1) Определяется уникально существенными переменными для вектор-множеств, взаимодействующих между собой.

2) Не имеет переменных, которые не существенны для взаимодействующих множеств.

3) Учитывает частоту встречаемости каждого компонента для вычисления сходства–различия.

4) Является универсальной моделью для определения сходства–различия любых дискретных процессов и явлений.

Частотно–векторная модель двух взаимодействующих подмножеств для определения сходства–различия обрабатывается по следующим формулам:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \cap b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)} \approx \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \min b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \max b_i)},$$

$$D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \Delta b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)} \approx \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - b_i|}{\sum_{i=1}^n (a_i \max b_i)}.$$

Здесь в логических операциях участвуют мощности подмножеств – частотности – каждого компонента, которые существенно повышают адекватность сходства–различия текстов, процессов и явлений. Такая модификация формул, где фигурируют три операции: выбор минимального значения из двух одноименных координат $(a_i \min b_i)$, выбор максимального значения на паре координат $(a_i \max b_i)$, вычисление модуля разности двух значений координат $|a_i - b_i|$, обрабатывает не только частотность, но и чисто двоичное представление вектор–множеств. Однако арифметические операции здесь приобретают недостаток – нельзя использовать параллельные вычисления над координатами векторов.

Преимущества предложенной метрики подобия процессов и явлений:

1) Инвариантность частотно–множественного представления примитивов–данных, по сравнению с кортеж–ориентированным расстоянием Левенштайна, дает возможность уменьшить вычислительную сложность алгоритма определения сходства–различия от экспоненциальной до квадратичной. Данное преимущество дает возможность адекватно оценивать плагиаризм для текстов на славянских языках, где допускается изменение порядка слов в предложениях.

2) Векторная, аппаратно ориентированная, модель унитарного кодирования множеств примитивов–слов дает возможность вычислять сходство различие за один автоматный такт.

3) Синтезируемая уникальная метрика также показывает путь преобразования одного текста в другой, а также вычислительную сложность такой трансформации, которая измеряется различиями в вектор–множествах.

4) Частотно–векторная структура является универсальной моделью для определения сходства–различия любых дискретных процессов и явлений для решения задач преобразования одного объекта в другой, принятия решений, поиска дефектов, классификации и кластеризации данных.

5) Маршрут трансформирования (коррекции) неисправного продукта, цифровой системы, программного приложения в исправное на основе определения различий двух метрик.

6) Маршрут трансформирования деструктивного генома вируса в полезный белок на основе определения различий двух метрик, или выработки антител, нейтрализующих деструктивные геномы вирусов.

5. Приложение для определения сходства–различия двух объектов

Реализация программного модуля сходства–различия представлена в C++ коде. Вход-выходной интерфейс программного модуля для вычисления сходства–различия между объектами (текстами, векторами, матрицами, структурами), где фигурируют файлы–источники, локальные и интегральные оценки сходства–различия, а также кнопки управления, имеет следующий вид (рис. 5):

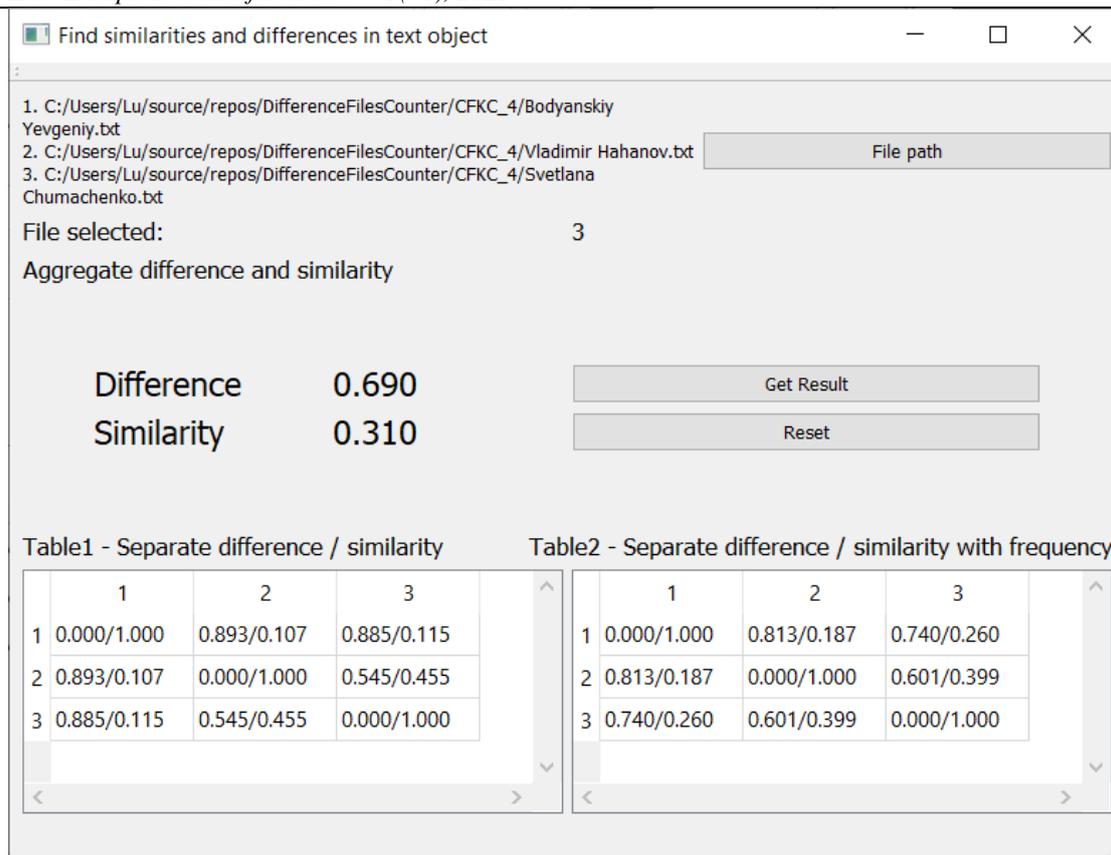


Рисунок 5. Интерфейс C++ приложения

Тестирование модуля выполнено на различных текстовых файлах, включающих пары:

- 1) Произведения известных авторов.
- 2) Научные публикации ученых.
- 3) Резюме экспертов и новичков в области компьютеринга.

4) Список Scopus–публикаций отдельных ученых и научных сотрудников. Следующая таблица метрического векторно-множественного сравнения пар текстовых объектов:

Sim-matrix	Resume	Text	Data	Screens	Scopus	Courses	References	E-mails	Papers
Object A (k)	450	150	560	500	40	140	15	3	470
Object B (k)	780	230	120	700	30	100	20	5	500
Similarity U	36	49	47	78	34	57	37	45	70
Similarity N	41	49	42	73	39	52	37	50	64

и график, представленный на рис. 6, отражают устойчивую связь между оценками, полученными в результате работы программного Similarity–модуля, а также значений, полученных на основе

использования программного продукта для определения сходства (плагиаризма) unichек [https://corp.eu.unichек.com/dashboard/library/brow ser#100071849].

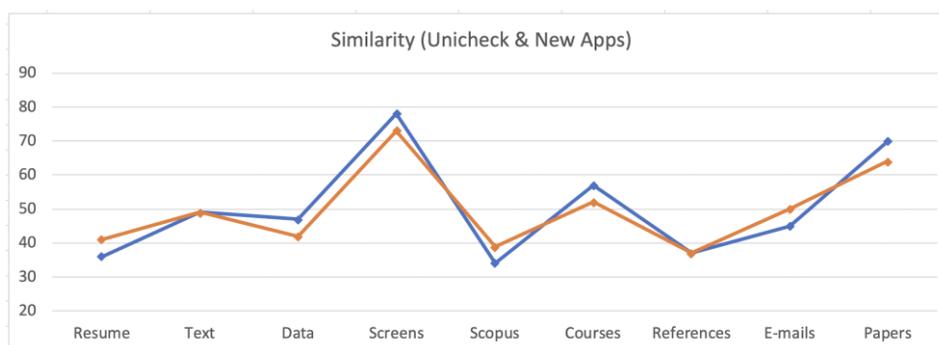


Рисунок 6. Корреляция между оценками двух программных продуктов

Здесь наблюдается корреляция между оценками с максимальным отклонением в 6 пунктов, полученными в различных программных продуктах, что свидетельствует о состоятельности предложенного теоретико-множественного метода для поиска сходства–различия между процессами и явлениями в целях принятия адекватных решений.

6. Выводы

Структура киберфизического компьютеринга, направленного на метрическое управление кадрами и принятие решений на основе исчерпывающего сбора данных и последующего сравнения с эталонными решениями, представлена на рис. 7.

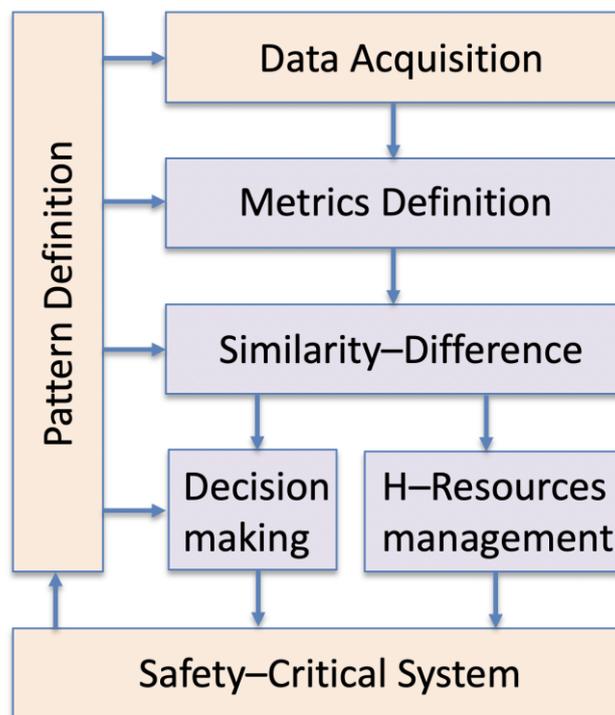


Рисунок 7. Структура компьютеринга управления

1) Предложены концепции архитектур, моделей, методов и алгоритмов киберсоциального компьютеринга, актуальные для обработки больших данных, принятия решений и управления критическими системами.

2) Сформулированы задачи и целевая функция, подлежащая исполнению для минимизации потерь, связанных с отказами и ремонтом критических систем за счет разработки и обслуживания компьютеринговых структур метрического онлайн принятия решений по цифровому управлению критическими процессами и явлениями на основе исчерпывающего точного мониторинга, использования умной инфраструктуры и подбора квалифицированных сотрудников, удовлетворяющих эталонным компетенциям по образованию, опыту и навыкам.

3) Предложен частотный теоретико-множественный метод поиска данных путем вычисления сходства–различия текстовых фрагментов–объектов, что дает возможность определять подобие объектов, стратегию трансформирования одного объекта в другой, а также идентифицировать уровень общности интересов, конфликтности, плагиаризма.

4) Реализован и протестирован C++ код частотного теоретико-множественного метода вычисления сходства–различия различных текстовых фрагментов–объектов. Проведен

сравнительный анализ предложенного приложения и существующей системы определения плагиаризма. Результаты имеют высокий уровень корреляции на различных тестовых примерах при невысоком квадратичном уровне вычислительной сложности предложенного метода.

Список литературы:

1. Drozd A. Checkability of the digital components in safety-critical systems: problems and solutions / A. Drozd, V. Kharchenko, S. Antoshchuk et. al. // IEEE East-West Design & Test Symposium. Sevastopol, Ukraine. 2011. P. 411–416.
2. Drozd O. Development of Models in Resilient Computing / O. Drozd, V. Kharchenko, A. Rucinski et. al. // IEEE International Conference DESSERT. Leeds, UK. 2019. P. 2-7.
3. Hahanov V. Green Cyber-Physical Computing as Sustainable Development Model / V. Hahanov, E. Litvinova, and S. Chumachenko // In the Book “Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation”. Editors V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk, Springer. 2017.
4. Tarraf D. Control of Cyber-Physical Systems / D. Tarraf // Workshop held at Johns Hopkins University. March 2013. Springer. 2013.
5. Guo R. The Method of Similarity-Difference Comprehensive Evaluation on Test Paper Quality in Colleges and Universities and Its Application / R. Guo,

G. Mao, Y. Liu, Y. Liu, J. Wang, R. Cui // 2009 Second International Conference on Education Technology and Training, Sanya, 2009. P. 227-230.

6. Zhu J. Deep Hybrid Similarity Learning for Person Re-Identification / J. Zhu, H. Zeng, S. Liao, Z. Lei, C. Cai, L. Zheng // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. Nov. 2018. Vol. 28, no. 11. P. 3183-3193.

7. Komori T. Real Friendship and Virtual Friendship: Differences in Similarity of Contents/People and Proposal of Classification Models on SNS / T. Komori, Y. Hijikata, T. Tominaga, S. Yoshida, N. Sakata and K. Harada // 2018

IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI). Santiago,. 2018. H. 354-360.

8. Lin K. New Vague Set Based Similarity Measure for Pattern Recognition / K. Lin // 2019 20th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD). Toyama, Japan. 2019. P. 15-21.

9. Hahanov V. Qubit Description of the Functions and Structures for Computing / V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova, and M. Liubarskyi // Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. Yerevan. Armenia. 14-17 Oct., 2016. P. 88-93.

#1(65), 2021 часть 3
Восточно Европейский научный журнал
(Москва, Россия)
Журнал зарегистрирован и издается в России
В журнале публикуются статьи по всем
научным направлениям.
Журнал издается на русском, английском,
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - A4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Каждый автор получает одну бесплатную
печатную копию журнала

Бесплатный доступ к электронной версии
журнала.

Редакционная коллегия

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

#1(65), 2021 part 3
Eastern European Scientific Journal
(Moscow, Russia)
The journal is registered and published in Russia
The journal publishes articles on all scientific areas.
The journal is published in Russian, English,
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each
month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the
journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)**
Peter Clarkwood(University College London)
Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 экземпляров.
Отпечатано в ООО «Логика+»
125040, г. Москва, Россия
проспект Ленинградский, дом 1,
помещение 8Н, КОМ. 1
«Восточно Европейский Научный Журнал»
Электронная почта: info@eesa-journal.com,
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki)**
Peter Clarkwood(University College London)
Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.
Printed by Logika + LLC
125040, Moscow, Russia
Leningradsky prospect, building 1,
8N, flat. 1
"East European Scientific Journal"
Email: info@eesa-journal.com,
<https://eesa-journal.com/>