

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Сборник трудов
Всероссийской научно-практической конференции
«Инновационное развитие информационных систем и
технологий в гидрометеорологии»

12 апреля 2022 года

УДК 004:[551.46+551.5+556]:001.895(063)

ББК 16.2+26.2я4

И 66

Редакционная коллегия:

Зайцева Ирина Владимировна, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и теоретической механики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»;

Завгородний Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры морские информационные системы ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»;

Сикарев Игорь Александрович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой морские информационные системы ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»;

Фадеев Сергей Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики и теоретической механики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции 12 апреля 2022 года / под. ред. Зайцевой И.В. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2022. – 256 с.

В сборнике предлагаются научные статьи и доклады, представленные на Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии» в РГГМУ. Направления работы конференции отражают области научных интересов коллективов кафедр, входящих в состав института информационных систем и геотехнологий. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных информационных технологий. Сборник предназначен для широкого круга лиц. Материалы сборника публикуются в авторской редакции.

УДК 004:[551.46+551.5+556]:001.895(063)

ББК 16.2+26.2я4

ISBN 978-5-86813-555-2

© Авторы статей, 2022
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленный сборник научных статей составлен по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии», проходившей 12 апреля 2022 года в РГГМУ, и затрагивает актуальную тему развития основных направлений в области разработки, создания и практического использования современных информационных систем и технологий в гидрометеорологии. Сборник затрагивает актуальные для современного мира проблемы использования информационно-коммуникационных технологий в современном обществе, применения информационных методов в работе специалистов различного профиля.

Актуальность вопросов, поднятых на конференции, обусловлена необходимостью их рассмотрения как с точки зрения практического применения, так и с позиций их теоретического осмысления. Именно поэтому собранные в данном сборнике статьи не только взаимодополняют друг друга, но и позволяют сформировать представление об инновационном развитии информационных систем и технологий в гидрометеорологии.

Сборник состоит из четырех разделов, в соответствии с направлениями работы конференции:

1. Современные информационные геотехнологии и системы безопасности.
2. Прикладные аспекты высшей математики и теоретической механики в инфокоммуникационных технологиях.
3. Морские информационные системы и технологии.
4. Физические основы информационных систем и геотехнологий.

Направления работы конференции отражают области научных интересов коллективов кафедр, входящих в состав института информационных систем и геотехнологий РГГМУ. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных информационных технологий.

Организаторы конференции надеются, что инновационные материалы, изложенные в статьях участников Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие информационных систем и технологий в гидрометеорологии», найдут достойное применение в реальном секторе развития современного общества.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 347.77:551.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАТЕНТОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕТЕОРОЛОГИИ

*Александрова Анна Владимировна, Власов Александр Дмитриевич,
Славин Ярослав Алексеевич
ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности»
г. Москва, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается динамика патентования в области метеорологии за период 2010 – 2020 гг. Особое внимание уделяется активности патентования по рубрике МПК G01W 1/08. Отмечается ценность патентной информации для разработки прорывных технологических решений в области метеорологии и смежных наук.

Ключевые слова: патентная активность, изобретение, промышленный образец, результат интеллектуальной деятельности, метеорология.

INVESTIGATION OF PATENTING DYNAMICS IN THE FIELD OF METEOROLOGY

*Alexandrova Anna Vladimirovna, Vlasov Alexander Dmitrievich,
Slavin Yaroslav Alekseevich
Federal Institute of Industrial Property,
Moscow, Russia*

Annotation. The article discusses the dynamics of patenting in the field of meteorology in the period 2010-2020. Particular attention is paid to the activity of patenting under the IPC code G01W 1/08. The value of patent information for the development of breakthrough technological solutions in the field of meteorology and related sciences is noted.

Keywords: patent activity, invention, industrial design, result of intellectual activity, meteorology.

Патентная информация – уникальная подборка систематизированных технических данных об изобретениях, полезных моделях и промышленных образцах, заявленных в качестве объектов промышленной собственности и/или официально признанных таковыми патентным ведомством. С ее использованием осуществляется разработка технических новшеств,

определяются перспективы коммерциализации созданных объектов промышленной собственности и их конкурентоспособность.

Традиционно индикатором измерения технологических результатов научных исследований и разработок служит патентная статистика. Она базируется на данных динамики подачи заявок на выдачу патентов на изобретения (ИЗ) и полезные модели (ПМ). Подробно тенденции патентной активности в России за период 2000-2020 гг. освещены в работе [1].

В последнее десятилетие отмечается устойчивый рост применения комплексных инструментов анализа патентной информации в целях управления научно-технологическим развитием на отраслевом уровне. Большинство авторов в качестве комплексного инструмента рассматривают патентный ландшафт, который наиболее эффективно применяется для определения уровня инновационного развития и существующих научно-технологических перспектив, а также для определения вектора прикладных исследований [2;3].

Цель настоящего исследования состояла в анализе динамики патентования в области метеорологии.

Выбор предметной области обусловлен стратегической ролью метеорологии в решении проблем экологической безопасности и перспективностью применения беспилотных летательных аппаратов в целях мониторинга состояния природных и техногенных систем [4;5].

Методический аппарат исследования основан на сочетании базовых методов общенаучного и естественнонаучного познания. Применяется методика патентного поиска. Содержание запроса: заявки на изобретения и полезные модели, поданные в Роспатент национальными заявителями в период 2010-2020 гг. Источник данных – поисковые системы Роспатента.

Международная патентная классификация (МПК) представляет собой инструмент для экспертов патентных ведомств и других потребителей, осуществляющих поиск патентных документов. На рис.1 представлена иерархия Раздела G «Физика» (Рисунок 1).

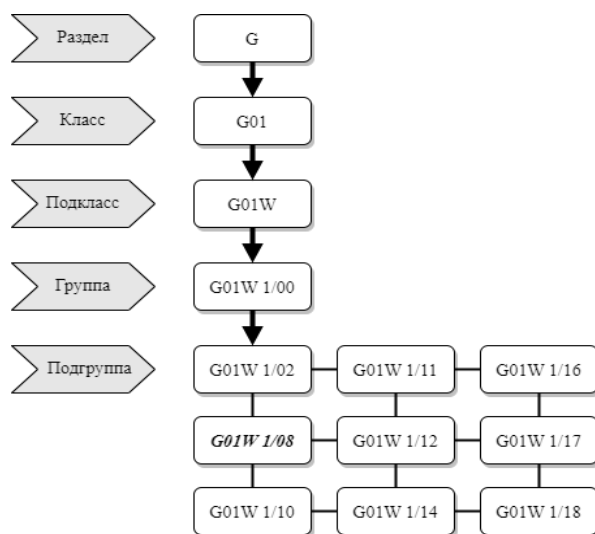


Рисунок 1 - Место подгруппы G01W 1/08 в иерархической структуре раздела МПК G – физика

Из рисунка видно, что во главе ставится раздел - высший уровень иерархии МПК. Последующее уточнение указывается путем подчинения одних групп другим. Например, Группа G01W 1/00 - «Метеорология», подгруппа G01W 1/08 – «Использование воздушных шаров, снарядов или летательных аппаратов для метеорологических целей; радиозонды».

Результат патентного поиска представлен в виде графической диаграммы. Под общей динамикой понимается суммарное количество заявок на ИЗ и ПМ, поданных в Роспатент.

Всего за период 2010 – 2020 гг. общее число заявок, поданных национальными заявителями в Роспатент по направлению G01W (метеорология) – 424 ед. (Рисунок 2). Характер тренда представляет собой чередование пиков. Максимальная активность подачи заявок наблюдается в 2016 году: G01W–52 ед. и G01W 1/08–11 ед. Минимальная активность в 2020 году: G01W–27 ед. и G01W 1/08–4 ед.

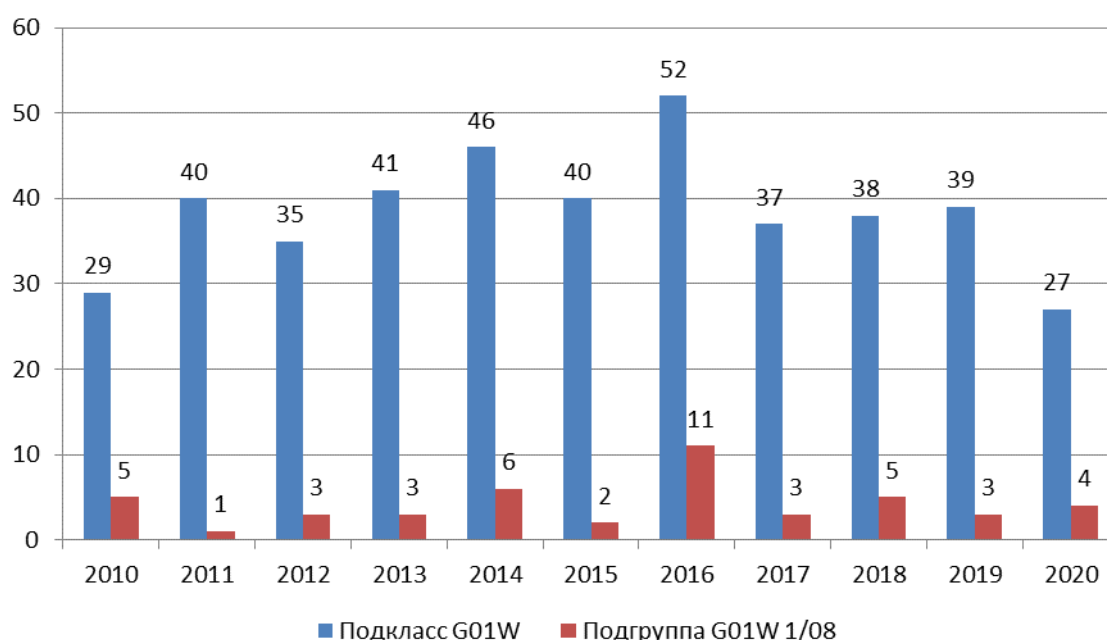


Рисунок 2 - Динамика подачи заявок на ИЗ и ПМ, поданных в Роспатент национальными заявителями (2010 г. - 2020 г.)

Так же важно отметить, что показатели 2020 г. сопоставимы с уровнем 2010 года. Отсюда необходимо сделать вывод о необходимости увеличения количества подачи заявок на изобретения и полезные модели, а также о стимулировании населения и сотрудников компаний на создание инноваций в сфере метеорологии.

Выводы

Изобретения и полезные модели в России являются наиболее значимым объектом патентных прав с точки зрения количественного анализа.

Патентный анализ временных рядов верхних уровней МПК позволяет обосновать перспективный путь создания новых видов техники, а выбор

конкретного технического решения на низшем уровне остается за разработчиком с учётом его опыта, имеющегося научного задела и ресурсов.

Список использованной литературы

1. Александрова А.В. Актуальные тенденции патентной активности в России: оценка и перспективы / Александрова А.В., Аникеева М.Ю., Александров Ю.Д. // Наука и бизнес: пути развития, – 2021. – № 4(118). – С. 140-143.

2. Ена О.В. Корпоративная патентная аналитика. Отраслевые применения / Ена О.В. // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность, – 2020. – № 5. – С. 69-73.

3. Ильина И.Е., Агамирова Е.В., Лапочкина В.В. Технологический атлас патентной специализации как инструмент мониторинга развивающихся технологических направлений// Наука. Инновации. Образование, – 2019. Т. 14. № 1. – С. 8-41.

4. Кондратов Н.А. Стратегические направления развития гидрометеорологии и смежных наук в России / Кондратов Н.А. // География: развитие науки и образования: Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Отв. редакторы Богданов С.И., Субетто Д.А., Паранина А.Н. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, – 2021. – С. 112-116.

5. Кузнецов И.Е., Мельников А.В., Рогозин Е.А., Страшко О.В. Методика учета влияния метеорологических факторов на эффективность применения беспилотных летательных аппаратов на основе системного анализа. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018.– 45 (2).– С. 125-139.

6. Ильина С. А. Патентная активность отечественных и иностранных заявителей как индикатор научно-технологического развития России: анализ актуальной статистики// Мир новой экономики, – 2019.–13(3).–С. 31-40.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Грозмани Елена Сергеевна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия

Петров Сергей Вадимович

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Рубин»,

г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Киберфизические системы (КФС) представляют собой иерархическую информационно-технологическую среду, возникшую в результате конвергенции телекоммуникационных сетей общего назначения и специализированных технологических устройств, предназначенных для управления и контроля физическими процессами. Данный вид систем активно внедряется в промышленную, городскую и бытовую инфраструктуру, позволяя обеспечить более эффективное использование ресурсов, повысить качество управления и обратной связи. Являясь сложными гетерогенными распределенными информационно-управляющими системами, КФС восприимчивы к киберугрозам. Особенности построения и функционирования киберфизических систем требуют разделения угроз и атак на два класса. К первому относятся действия злоумышленников, направленные на нарушение конфиденциальности, доступности и целостности обрабатываемых в системе данных. Обеспечение безопасности обычных информационных систем направлено на сохранение именно этих свойств. Ко второму классу относятся киберугрозы, успешная реализация которых способна привести к нарушению или модификации процессов управления и контроля внутри системы. В зависимости от задач КФС и степени критичности процессов реального мира, которыми она управляет, нарушение ее внутренних потоков в конечном итоге может привести к большому материальному ущербу, а также к угрозе жизни и здоровью людей. В данных условиях применения особенно важным является обеспечение информационной безопасности применяемых киберфизических систем. Для обеспечения требуемого уровня защищенности данных объектов, необходимо эффективно решать задачи управления процессом обеспечения их информационной безопасности.

Ключевые слова: киберфизические системы, информационная безопасность, модель, управленческое решение.

MANAGEMENT OF PROCESSES OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Grozmani Elena Sergeevna

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia
Petrov Sergey Vadimovich
Scientific Research Institute "Rubin",
St. Petersburg, Russia*

Annotation. Cyber-Physical Systems (CPS) is a hierarchical information technology environment that has emerged because of the convergence of general-purpose telecommunication networks and specialized technological devices designed to manage and control physical processes. This type of system is being actively implemented in industrial, urban and domestic infrastructure, allowing for more efficient use of resources, improving the quality of management and feedback. Being complex heterogeneous distributed information and control systems, KMS are subject to cyber threats. Features of the construction and operation of cyber-physical systems require the division of threats and attacks into two classes. The first includes the actions of intruders aimed at violating the confidentiality, availability and integrity of data processed in the system. Ensuring the security of traditional information systems is aimed at preserving precisely these properties. The second class includes cyber threats, the successful implementation of which can lead to disruption or modification of the management and control processes within the system. Depending on the tasks of the CPS and the degree of criticality of the real world processes that it manages, disruption of its internal flows can eventually lead to great material damage, as well as to a threat to human life and health. In these conditions of application, it is especially important to ensure the information security of the applied cyber-physical systems. To ensure the required level of security of these objects, it is necessary to effectively solve the problems of managing the process of ensuring their information security.

Keywords: cyber-physical systems, information security, model, management decision.

Киберфизические системы представляют собой информационно-технологические объекты, являющиеся результатом слияния физического процесса с управляющей программируемой средой, созданные на базе развитых гетерогенных мультипротольных вычислительных сетей, и включающие производительные информационные системы, которые могут обладать свойствами искусственного интеллекта. На их базе реализуется управление непосредственными исполнителями (электрические, гидравлические, термодинамические, климатические, роботизированные системы и комплексы и т. п.), а также осуществляется мониторинг и сбор данных, необходимых для организации своевременной и качественной обратной связи.

На сегодняшний день наиболее яркими примерами КФС являются системы, обеспечивающие реализацию концепции умного дома и Интернета вещей (Internet of Things или IoT), системы управления производством (Industrial Control System или ICS), а также диспетчерского управления и сбора

данных (Supervisory Control And Data Acquisition или SCADA). Примерами локальных киберфизических систем являются современный автомобиль и сложное медицинское оборудование.

Киберфизические системы, являясь информационными системами, восприимчивы к деструктивным факторам цифровой среды – угрозам информационной безопасности. Основной задачей КФС, в отличие от информационных систем, является управление и контроль над физическими процессами реального мира. Это определяет изменение основных целей злоумышленников. Для традиционных информационных систем это несанкционированный доступ к защищаемой информации и нарушение доступности данных и сервисов. Основными целями при атаках на КФС является разрушение информационных потоков внутри системы, а также перехват управления исполнителями (actuators). В следствии трансформации целей атакующих изменяются и последствия успешно реализованных ими атак. Для информационных систем – финансовые и репутационные потери. В случае с КФС ущерб может быть совсем иным от повреждения и разрушения технических средств и объектов до нанесения вреда здоровью человека и даже создания угрозы его жизни. Ситуацию усложняет тот факт, что против киберфизических систем могут проводить целенаправленные компьютерные атаки с использованием уязвимостей нулевого дня, социальной инженерии и специально разработанных средств. Сложность и разнородность КФС, наличие множества киберугроз и атакующих, обладающих специальными средствами и высокой квалификацией, а также высокий потенциальный ущерб требуют реализации сложной многоцелевой системы обеспечения информационной безопасности.

Подсистема защиты представляет собой полностью либо частично независимую метасистему по отношению к защищаемой и состоит из совокупности процессов, направленных на выявление и нейтрализацию угроз. В тоже время процесс управления подсистемой обеспечения информационной безопасности нужно рассматривать как еще более высокоуровневый. Большинство исследований посвящено именно процессам обеспечения безопасности, а не управлению ими. В то же время в отсутствии командных решений, адекватных реальной обстановке, даже самая совершенная система не сможет обеспечить выполнение своих целевых задач с требуемыми показателями.

Другой важной проблемой является выбор и обоснование требований к системе защиты КФС. В данной ситуации требуется построение математической модели системы, которая бы позволила оценить характеристику прототипа еще до его создания. В настоящее время преобладающим подходом является построение моделей на основе анализа. Данные решения при их более простой реализации не учитывают все закономерности и условия существования целевых процессов внутри системы. Таким образом, реализуемые системы безопасности не обладают требуемыми

свойствами и/или показателями и не позволяют обеспечить необходимый уровень защищенности.

Таким образом, в связи с быстрым развитием киберфизических систем и необходимостью их внедрения обеспечение безопасного функционирования КФС является приоритетной задачей. В то же время современные подходы к организации и обеспечению процессов управления безопасностью КФС не позволяют достигнуть целей управления с гарантированным результатом. Это создает угрозы возникновения неприемлемого ущерба.

Для гарантированного достижения цели деятельности необходимо использовать подход, основанный на синтезе, который лишен недостатка подхода, построенного на основе анализа. В связи с этим в данном исследовании применяется подход на основе синтеза.

Естественно - научный подход (ЕНП) необходимо применять для синтеза системы управления информационной безопасностью КФС. ЕНП создается на основе интеграции свойств мышления человека, окружающего мира и познания.

ЕНП выражается в трех принципах [1]:

1) первый принцип – условия существования причинно-следственных связей и технологий;

2) второй принцип – закон сохранения целостности объекта (ЗСЦО).

Примечание: ЗСЦО представляет собой повторяющуюся связь свойств объекта и действия при фиксированном предназначении.

3) третий принцип – декомпозиция, абстрагирование, агрегирование.

ЛПР (лицо, принимающее решения) формирует процессы обеспечения безопасности объекта на основе модели [2]. Только на основе правильно построенной системы и адекватной модели управления можно создать требуемый процесс обеспечения информационной безопасности. Для этого требуется рассмотреть ЗСЦО как условия существования процессов обеспечения безопасности КФС при воздействии деструктивных факторов окружающей среды.

Управление системой – это целенаправленное воздействие ЛПР на систему с целью обеспечения требуемого показателя эффективности в различных условиях обстановки. Обстановка представляет собой множество факторов и условий, в которых осуществляется деятельность.

ЛПР при управлении безопасностью осуществляет две функции [3]:

а) идентификация проблемы;

б) нейтрализация проблемы.

На рисунке 1 приведена модель принятия управленческого решения согласно ЗСЦО [4, 5].

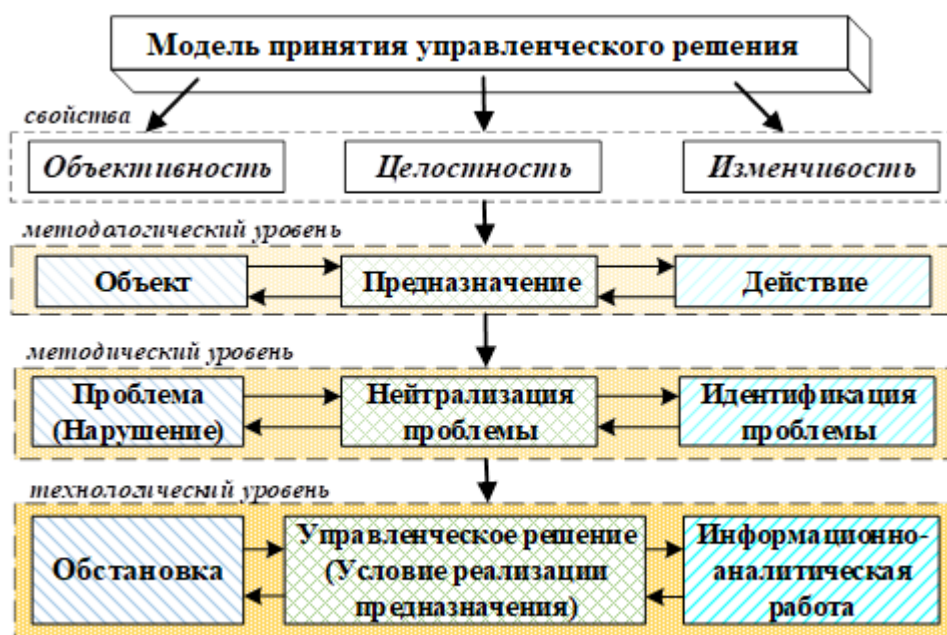


Рисунок 1 - Модель принятия управленческого решения

Разложив понятие «управленческое решение» на три базовых элемента «обстановка», «информационно-аналитическая работа» и собственно «решение» необходимо перейти к синтезу модели решения. На рисунке 2 представлена структурная схема синтеза модели [2].

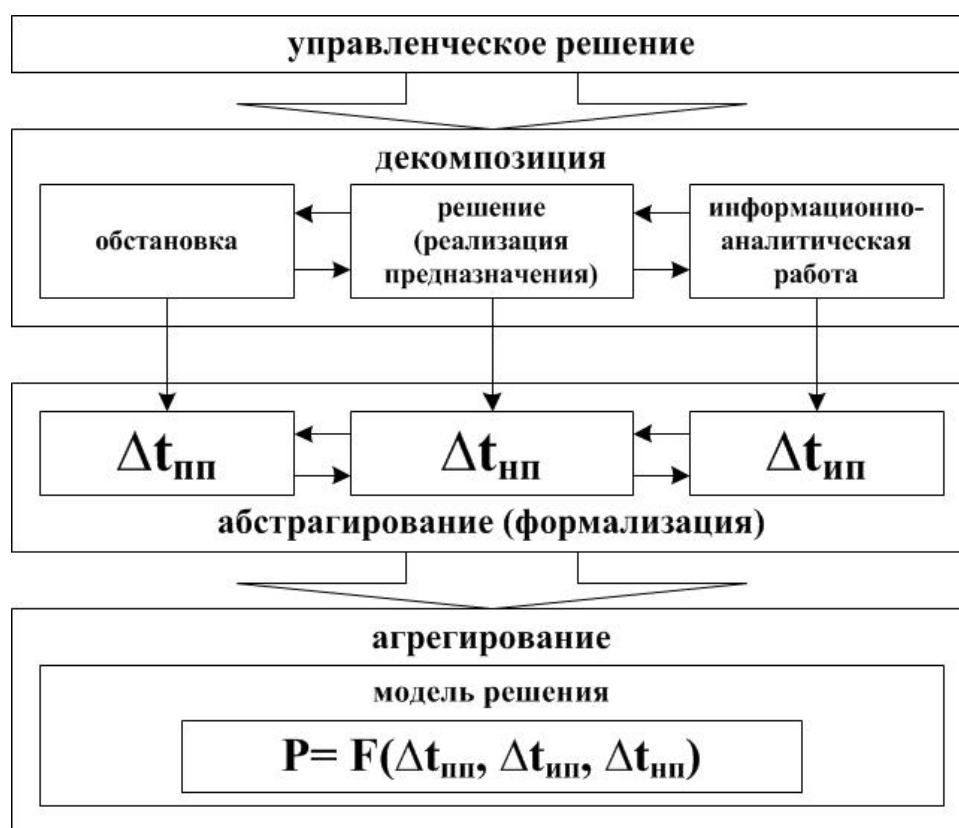


Рисунок 2 - Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения

Модель решения ЛПР характеризует четыре базовых состояния [5]:

A00 – ЛПР не идентифицирует и не нейтрализует;

A10 – ЛПР идентифицирует и не нейтрализует;

A01 – ЛПР не идентифицирует и нейтрализует;

A11 – ЛПР идентифицирует и нейтрализует.

$P_{00}, P_{10}, P_{01}, P_{11}$ – введенные вероятности нахождения системы управления информационной безопасностью КФС в состояниях $A_{00}, A_{10}, A_{01}, A_{11}$.

На рисунке 3 приведен граф состояний.

Допустим, что система находится в начальном состоянии A_{00} . При появлении проблемы под воздействием интенсивности λ процесс управления переходит в состояние A_{10} , т. е. в состояние распознавания проблемы (угрозы) КФС. Из этого состояния система с интенсивностью v_1 переходит в состояние A_{01} , в котором система управления безопасностью начинает процесс нейтрализации проблемы (угрозы) с интенсивностью v_2 и переходит в состояние A_{00} . Такая ситуация возможна, если проблема нейтрализована, а очередная проблема еще не образовалась. При возникновении проблемы под воздействием интенсивности λ система переходит в состояние A_{11} . Находясь в состоянии A_{11} , с интенсивностью v_1 система переходит в состояние A_{01} , если проблема распознана КФС, и переходит в состояние A_{10} с интенсивностью v_2 , если одна проблема нейтрализована. Затем появляется следующая проблема, которую необходимо распознать, и процесс повторяется.

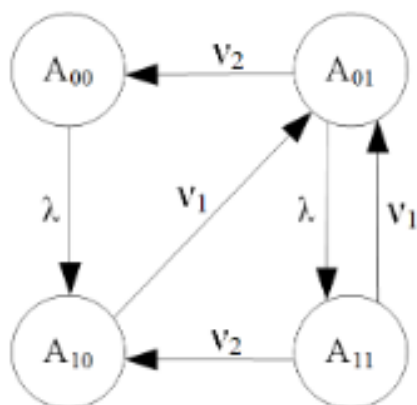


Рисунок 3 - Граф состояний системы управления безопасностью КФС

На рисунке 1 указаны следующие обозначения:

а) λ – величина, обратная среднему времени проявления проблемы ($1/\Delta t_{\text{пр}}$);

б) v_1 – величина, обратная среднему времени идентификации проблемы в КФС ($1/\Delta t_{\text{ип}}$);

в) v_2 – величина, обратная среднему времени нейтрализации проблемы ($1/\Delta t_{\text{нп}}$).

Для описания процесса изменения состояний на графе используется система дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}(t) \cdot P_j(t) - P_i(t) \cdot \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t) \quad (1)$$

где $i = 0, 1, 2 \dots n$.

$\lambda_{ij}P_j(t)$ – вероятность перехода из состояния A_i в A_j , причем интенсивность потоков λ_{ij} может зависеть от времени или являться постоянной.

Следующее правило необходимо использовать для составления системы уравнений Колмогорова: производная вероятности каждого состояния равна сумме всех потоков вероятности, идущих из других состояний в данное состояние, минус сумма всех потоков вероятности, идущих из данного состояния в другие.

Ниже приведены дифференциальные уравнения для графа, представленного на рисунке 3:

$$\frac{d}{dt}P_{00}(t) = -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)\nu_2 \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}P_{01}(t) = -P_{01}(t)(\lambda + \nu_2) + P_{11}(t)\nu_1 + P_{10}(t)\nu_1 \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt}P_{10}(t) = P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)\nu_1 + P_{11}(t)\nu_2 \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt}P_{11}(t) = P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(\nu_1 + \nu_2) \quad (5)$$

Для решения данной системы необходимо перейти к стационарным процессам. Введем следующее ограничение:

$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1 \quad (6)$$

Полученные значения вероятностей не зависят от времени.

В качестве решения системы уравнений были получены следующие соотношения:

$$P_{00} = \frac{\nu_1\nu_2}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1\nu_2} \quad (7)$$

$$P_{10} = \frac{\lambda\nu_2(\lambda + \nu_1 + \nu_2)}{(\nu_1 + \nu_2)[\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1\nu_2]} \quad (8)$$

$$P_{01} = \frac{\lambda\nu_1}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1\nu_2} \quad (9)$$

$$P_{11} = \frac{\lambda^2\nu_1}{(\nu_1 + \nu_2)[\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1\nu_2]} \quad (10)$$

Полученные значения вероятностей нахождения системы в состояниях A_{00} , A_{10} , A_{01} , A_{11} позволяют выработать основные требования к свойствам процесса распознавания проблемы (угрозы), возникшей в КФС, и к свойствам процесса нейтрализации этой проблемы в системе управления безопасностью объекта защиты.

Вероятность гарантированного выполнения объектом управления своего предназначения представлена в виде соотношения:

$$P_{00} = \frac{\nu_1\nu_2}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1\nu_2} \quad (11)$$

Таким образом, в соотношении (11) установлена аналитическая зависимость характеристик обстановки ($\lambda = 1/\Delta t_{\text{III}}$), информационно-аналитической деятельности КФС ($v_1 = 1/\Delta t_{\text{III}}$) и нейтрализации проблемы ($v_2 = 1/\Delta t_{\text{III}}$), возникшей при управлении процессами функционирования объекта защиты. Применение полученных результатов на практике приведет к обеспечению безопасности объекта защиты с выбранным допущением вероятности возникновения угрозы.

Список использованной литературы

1. Бурлов В.Г., Полюхович М.А., Каченкова В.Д., Капицын С.Ю. Математическая модель решения человека – методологическая основа функционирования системы искусственного интеллекта в робототехнике. XLV академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, – 2021. – С. 307-308.
2. Бурлов В.Г. Синтез модели управления информационной безопасностью. В сборнике: Информационные управляющие системы и технологии. Материалы IV Международной научно-практической конференции (ИУСТ-ОДЕССА-2015), – 2015.– С. 147-150.
3. Istomin E. P., Abramov V. M., Burlov V. G., Sokolov A. G., Fokicheva A. A. Risk management method in parametric geosystems. В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings, – 2018.– Pp. 377-384.
4. Бурлов В.Г., Попов Н.Н., Гарсия Эскалона Х.А. Правление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, – 2018. № 50.- С. 118-129.
5. Burlov V.G., Popov N.N. Management of the application of the space geoinformation system in the interests of ensuring the environmental safety of the region. Advances in the astronautical sciences, – 2017. – Pp. 751-760.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ И ГОРЯЧИМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ В
УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Домостроева Анастасия Алексеевна

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия*

Бурлов Вячеслав Георгиевич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос устойчивости процесса обеспечения теплоснабжения (ТС) и горячего водоснабжения (ГВС) в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов (ГМФ). Для обеспечения надёжной работы объекта ТС и ГВС (Объект), расположенного в районе застройки, необходимо гарантировать его безопасность. Для решения этой проблемы разработана информационная система (ИС) управления процессом обеспечения Объектом в условиях разрушительного воздействия ГМФ на основе интеграции процессов безопасности и геоинформационной системы (ГИС). Также была определена концепция модели принятия решений лицом, принимающим решения.

Ключевые слова: система управления, пространственные данные, географическая информационная система, ГИС, модель принятия решений, управленческое решение, безопасность.

**INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING THE PROCESS OF
PROVIDING HEAT SUPPLY AND HOT WATER SUPPLY IN THE
CONDITIONS OF THE DESTRUCTIVE IMPACT OF
HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS**

Domostroeva Anastasia Alekseevna

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia*

Burlov Vyacheslav Georgievich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. In this paper, the issue of the stability of the process of providing heat supply (HS) and hot water supply (HWS) in the conditions of destructive effects of hydrometeorological factors (GMF) is considered. To ensure reliable operation of the HS and HWS object (Object) located in the development area, it is necessary to

guarantee its safety. To solve this problem, an information system (IS) for managing the process of providing an Object in the conditions of the destructive impact of GMF has been developed based on the integration of security processes and a geoinformation system (GIS). The concept of a decision-making model by a decision-maker was also defined.

Keywords: management system, spatial data, geographical information system, GIS, decision-making model, management decision, safety.

Сегодняшнее время характеризует инфраструктуру человеческой деятельности высокой энергоёмкостью. Это связано с тем, что энергетическое планирование должно быть направлено в первую очередь на экономию и снижение потребления тепла, а также на внедрение систем безопасности для Объектов таким образом, чтобы обеспечить устойчивое развитие человеческого общества, которое представляет собой непрерывное ТС и ГВС объектов инфраструктуры различного назначения [1]. Возможно говорить о нормальном, то есть регулярном, функционировании Объекта только тогда, когда обеспечена его безопасность. Безопасность – это свойство системы поддерживать своё назначение [2]. На процесс ТС и ГВС через тепловые сети влияют различные факторы ОС [3], в том числе ГМФ (температура воздуха, ветер, солнечная радиация, влажность, атмосферное давление и другие). Сочетание ГМФ приводит к определённым гидрометеорологическим явлениям (метель, гололёд, туман, сильные морозы, экстремальная жара и другие). Гидрометеорологические явления оказывают влияние на тепловые сети, провоцируя их разрушение и сбои в ТС и ГВС. Сегодня эта проблема очень актуальна, особенно с учётом того, что большинство Объектов либо исчерпали свой ресурс, либо функционируют на стадии полного снижения производительности. В данной работе предлагается решить этот вопрос с точки зрения обеспечения безопасности. Научно-педагогическая школа «Системная интеграция процессов государственного управления» (СПбПУ, СПб) разработала естественно-научный подход, основанный на законе сохранения целостности объекта [2]. На основе естественно-научного подхода возможно реализовать системную интеграцию процессов безопасности, что, по мнению авторов, является решением существующей проблемы.

Основным препятствием в обеспечении безопасности географически распределённых объектов является нестабильность параметров ОС [4]. Изменения погодных условий провоцируют изменения в производительности технологических систем, поскольку многие процессы обладают низкой устойчивостью к изменениям ОС [5-6]. В результате происходит сбой в работе Объекта, который вызывает цепную реакцию, наносящую экономический и материальный ущерб человеческому обществу, в том числе наносящий вред здоровью и жизни персонала Объектов [7-8]. Таким образом, необходимо разработать и внедрить новые подходы к управлению безопасностью.

Проблемы ТС и ГВС для потребителей в условиях деструктивного воздействия ГМФ заставляют их искать решения в использовании современных

технологий, которые позволяют им поддерживать принятие решений, обеспечивая комплексную политику управления безопасностью. Тем не менее, подход, обеспечивающий системное взаимодействие передовых технологий с системой поддержки управленческих решений в случае угрозы, ещё недостаточно разработан [9].

Системы управления, в частности безопасность или ТС и ГВС, довольно чувствительны к принятию определённого управленческого решения [10], поскольку состояние системы зависит от лица, принимающего решения (ЛПР). Состояние системы в конкретный момент времени – это набор её существенных свойств в конкретный момент времени. Одной из общих задач системного анализа является установление причинно-следственных связей между состоянием системы и её входными и выходными данными, позволяющее достичь цели ТС и ГВС [11]. Для создания эффективно организованной системы необходимо иметь математическую модель принятия решений для ЛПР [2].

Говоря о стабильном процессе ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ, необходимо решить проблему прогнозирования ГМФ. Изменчивость характеристик экологических процессов требует постоянного мониторинга, что подразумевает использование автоматизированной ИС, предназначенной для обработки пространственных данных (ПД), интеграция которых должна основываться на географической информации. Необходимость моделирования поведения системы, а также её компонентов требует выбора инструментов представления. Сегодня индустрия безопасности широко использует современные технологии, в том числе ГИС [12].

ПД имеют ключевое значение для установления взаимосвязи между различными явлениями, и их необходимо собирать, хранить, анализировать и представлять с использованием специально разработанных платформ. ГИС наиболее подходит для этих целей. Системная интеграция ГИС и процессов обеспечения безопасности позволяет автоматически оценивать ситуацию в определённой местности и принимать необходимые меры для устранения возможной угрозы. Архитектура и инфраструктура ГИС должны включать соответствующие подходы к сбору данных, методы пространственного анализа для преобразования и интерпретации ПД и представления результатов в форме, подходящей для целей управления.

Представление, приложение и данные – это три основных уровня ГИС [13]. Представление включает в себя: пользовательские интерфейсы, формы и функции графической визуализации. Приложение включает в себя: элементы обработки данных, которые в основном отвечают за процессы обработки данных и ошибок, а также систему контроля качества. Данные включают в себя: хранение и управление данными, а также систему баз данных.

Оптимизация и упрощение процессов принятия решений, повышение эффективности решений, которые должны приниматься ЛПР на всех иерархических уровнях, является целью ГИС [14].

Этот аспект использования ГИС предполагает анализ имитационных моделей объекта в текущих условиях ОС для предотвращения чрезвычайных ситуаций (моделирование угроз, оценка уязвимости) и разработки предложений по устранению угроз, обеспечивая при этом снижение влияния человеческого фактора.

Превентивное снижение вероятности сбоев процесса ТС и ГВС является предпочтительным и значительно более эффективным во всех случаях по сравнению с действиями аварийных служб при их реагировании, локализации, ликвидации и восстановлении теплоэнергетической системы. Таким образом, стратегии планирования и предотвращения отказов тепловых сетей должны включать: краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный мониторинг и оценку изменений в таких отказах тепловых сетей [15]. Для достижения заданного уровня безопасности Объекта определяются и исследуются конкретные критерии опасности: экономические, социальные, воздействие на окружающую среду, другие.

Важно отметить, что система управления ТС и ГВС для снижения вероятности негативного сценария должна включать методологию мониторинга и оценки эффективности принимаемых мер с использованием показателей эффективности управленческих решений.

Принимая во внимание вышеизложенное, целью данной работы является разработка ИС управления ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ на основе системной интеграции процессов безопасности и ГИС.

Системная интеграция системы управления безопасностью объектов и ГИС необходима для обеспечения бесперебойной работы ТС и ГВС. Полученная ИС может быть использована в качестве системы поддержки принятия решений и предоставлять необходимую информацию ЛПР.

ЛПР определяет приоритеты действий на основе обратной связи с инструментами ГИС в системе управления безопасностью. Инструменты ГИС могут быть использованы в качестве систем поддержки принятия управленческих решений для географически распределённых объектов (например, тепловых сетей) [16].

ЛПР принимает надёжные и правильные решения или снижает вероятность ошибочных решений по базе данных ГИС, которая основана на статистических данных о территории и ПД [17]. Такой подход особенно эффективен в условиях изменчивых параметров ОС и направлен на обеспечение стабильности системы управления.

Получение необходимых ПД состоит из четырёх последовательных этапов: определение назначения ГИС, разработка аналитической основы, обработка ПД и выбор требуемых параметров.

После разработки общих требований для выбора требуемых параметров рекомендуется сформировать перечень дополнительных функциональных спецификаций, соответствующих каждому из выявленных требований.

Для углублённого анализа каждого требования необходим процесс определения общих требований к образцу ПД. С точки зрения экономии

ресурсов и времени разработка общих требований является неоспоримым преимуществом. Некоторые из преимуществ включают: внедрение системы, отвечающей потребностям пользователей, формирование основы для структуры работы с соответствующими сроками и обязанностями, внедрение ГИС с соответствующими типами технологического и программного обеспечения.

Проблемы принятия решений вызваны строгими ограничениями на параметры системы управления безопасностью, и решения могут быть смоделированы как задача нелинейной оптимизации, которая сравнивает (анализирует) набор параметров. Многочисленные исследования показывают, что гораздо эффективнее искать удовлетворительное решение вместо оптимального решения в рамках традиционного целевого программирования. Одной из главных мотиваций этой политики принятия решений является управление неопределённостью под влиянием ГМФ. Характерно, что системы управления объектами, расположенные в районах уплотнённой застройки, формируются на принципах иерархии и масштабирования, а ЛПР имеет дело с различными типами неопределённости.

Процессы управления безопасностью включают действия по нейтрализации возникающих угроз, а принятие решений рассматривается как проблема рационального выбора на основе имеющихся вариантов, отвечающих заданным требованиям. Сегодня управление безопасностью рассматривается как этап принятия решений, а не как последовательность действий для достижения цели деятельности, включая последовательность решений и связанных с ними конкретных действий. В ходе управления безопасностью на основе решений последовательный процесс принятия решений состоит из разделения и планирования конкретной задачи на различных уровнях в дополнение к моделям принятия решений. Следовательно, формирование процесса принятия решений с определённой последовательностью с целью управления ТС и ГВС требует системного подхода к представлению процесса.

Увеличение сложности формулирования структуры проблемы и вынесения удовлетворительного суждения путём обработки большого объёма информации в процессе принятия решений в условиях неопределённости связано с неполными, неточными и неправильными моделями принятия решений. Например, неопределённость входных данных вызвана изменчивостью параметров ОС в модели системы управления ТС и ГВС. Управление безопасностью требует повторения и анализа результатов, чтобы гарантировать рациональное, надёжное и эффективное решение. Поэтому для ЛПР необходимо уточнить входные и выходные данные процесса, а также закономерности их взаимодействия.

В [2] был получен график состояний системы безопасности тепловых сетей с учётом квалификации менеджера (рисунок 1). Вероятность нахождения системы в каждом из четырёх состояний можно определить, рассматривая поток событий как поток Пуассона, а также используя систему дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмана.

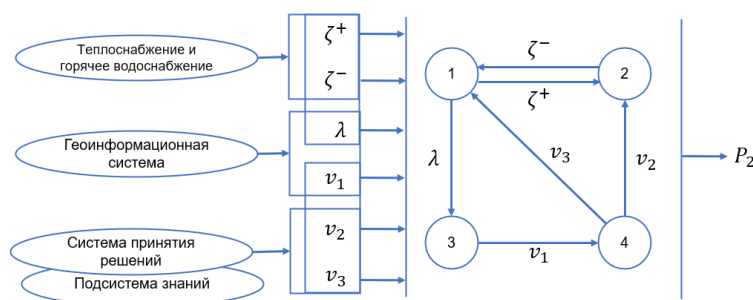


Рисунок 1 - Входные и выходные данные ИС управления ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ

Установлено, что ЛПР в процессе деятельности по управлению безопасностью имеет дело с двумя процессами: выявляет и нейтрализует угрозу. Следовательно, график состояния системы характеризуется следующим образом [2]: состояние «1» – ЛПР не идентифицирует и не нейтрализует угрозу; состояние «3» – ЛПР идентифицирует и не нейтрализует угрозу; состояние «4» – ЛПР не идентифицирует и не нейтрализует угрозу; состояние «2» – ЛПР идентифицирует и нейтрализует угрозу.

Основной интерес в данной работе представляет состояние «2», поскольку в этом состоянии все угрозы, возникающие в системе управления t , идентифицируются и нейтрализуются, следовательно, объект управления находится в безопасном состоянии и способен выполнять своё предназначение.

Переходы между состояниями определяются параметрами. На рисунке 1 показаны входные и выходные данные ИС управления ТС и ГВС в условиях разрушительного воздействия ГМФ:

ξ^+ – обратное значение среднего времени выполнения целевой задачи (передача ТС и ГВС потребителям);

ξ^- – частота отказов целевой задачи;

λ – обратное значение среднего времени проявления угрозы;

v_1 – обратное значение среднего времени идентификации угрозы;

v_2 – обратное значение среднего времени нейтрализации угрозы;

v_3 – частота неспособности ЛПР устранить угрозу из-за неспособности распознать ситуацию (показатель квалификации ЛПР);

P_2 – показатель эффективности системы управления ТС и ГВС (каждая угроза идентифицирована и нейтрализована).

ЛПР не может изменять значения параметров ξ^+ и ξ^- , поскольку характеристики теплоэнергетической системы, установленные требованиями к процессу ТС и ГВС, влияют на эти параметры. Значения параметров λ и v_1 были получены в ходе обработки ГИС ПД. В этом случае ЛПР не влияет на λ , но фактически v_1 формируется ЛПР для достижения требуемого показателя эффективности системы управления ТС и ГВС. Поскольку v_2 и v_3 полностью зависят от ЛПР и персонала Объекта, они являются индикаторами системы ЛПР. В свою очередь, P_2 зависит от всех заданных параметров (рисунок 1):

$$P_2 = F(\xi^+, \xi^-, \lambda, v_1, v_2, v_3) \quad (1)$$

Эти параметры получены в результате формирования сетевых моделей четырёх процессов: целевого процесса (ТС и ГВС для потребителей); проявления угрозы; идентификации угрозы; нейтрализации угрозы.

Соотношение для графика состояний ТС и ГВС и системы управления (рисунок 1):

$$P_2 = \frac{\xi^+ v_1 v_3 + \xi^+ v_1 v_2 + \lambda v_1 v_2}{\lambda \xi^- v_1 + \lambda \xi^- v_2 + \lambda \xi^- v_3 + \xi^+ v_1 v_3 + \xi^- v_1 v_3 + \xi^+ v_1 v_2 + \lambda v_1 v_2 + \xi^- v_1 v_2} \quad (2)$$

Таким образом, P_2 является показателем эффективности системы управления ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ (то есть показателем того, что любая угроза, возникающая в системе, идентифицируется и нейтрализуется).

Взаимодействие участников для ИС управления Объектом требует единой модели, объединяющей основные структурные элементы для формирования адекватного процесса принятия решений (рисунок 2).



Рисунок 2 - Структурные элементы ИС управления ТС и ГВС в условиях разрушающего воздействия ГМФ

В зависимости от уровня ответственности за ЛПР участникам системы закрепляются три роли:

1 – ЛПР. Отвечает за анализ системных требований и уточнение траектории функционирования Объекта;

2 – аналитик ПД. Отвечает за разработку подробных процессов принятия решений и формулирование соответствующих моделей воздействия ГМФ на Объект с учётом знаний предметной области, с целью оценки приемлемости результатов прогноза для предоставления достаточных рекомендаций для принятия решений;

3 – персонал Объекта. Отвечает за подготовку и выполнение задач для конкретного процесса принятия решений, а также за определение конечных технологических параметров с помощью конкретных упреждающих действий при детальном изучении процесса функционирования Объекта.

В системе принятия решений существуют два варианта управления технологическим процессом: решение задачи прямого управления; решение задачи обратного управления.

Показатель эффективности системы управления ТС и ГВС определяется по формуле (2) путём решения задачи прямого управления, которая затем сравнивается с заранее определённым приемлемым показателем. Если показатель эффективности ниже заданного допустимого значения (то есть обнаружено несоответствие), то обратная задача управления решается путём подстановки в уравнение (2) и определения значений для v_1 или v_2 , или v_3 .

ИС управления ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ позволяет получить необходимые параметры для определения P_2 (рисунок 3).

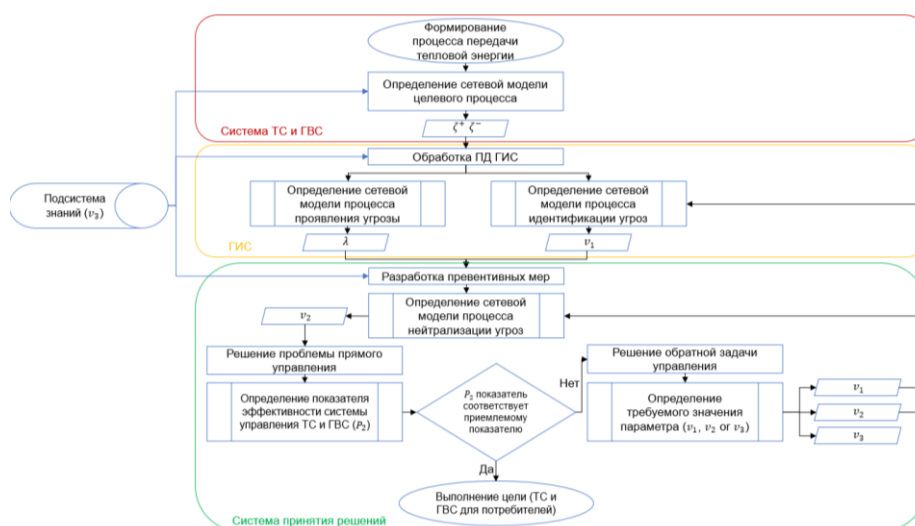


Рисунок 3 – Структурная схема принятия решений на основе ИС управления процессом передачи ТС и ГВС в условиях деструктивного воздействия ГМФ

Разработанная ИС управления ТС и ГВС в условиях разрушительного воздействия ГМФ позволяет осуществлять целенаправленную деятельность объектов тепловой энергетики с учётом ограниченных ресурсов – ТС и ГВС.

При этом становится возможным не только определить показатель эффективности системы управления, но и сформировать его требуемое и приемлемое значение с учетом экономических затрат и выгод, ограниченных материальных и эксплуатационных ресурсов.

Важно отметить, что одним из важных показателей, по мнению авторов, является показатель квалификации ЛПР (v_3). Расчёт показателя квалификации ЛПР – довольно сложная задача, требующая решения, поэтому в этом направлении планируются дальнейшие исследования.

Список использованной литературы

1. Alsalloum H., Merghem-Boulahia L., Rahim R. A systematical analysis on the dynamic pricing strategies and optimization methods for energy trading in smart grids, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, – 30(9).–2020.
2. Burlov V., Mankov V., Polyukhov M. Safety management of the electric power supply process of the construction site, taking into account the qualification of the manager, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, – 890(1).– 2020.
3. Бурлов В.Г., Грачёв М.И. Модель управления транспортными системами, учитывающей возможности инноваций. *Технико-технологические проблемы сервиса*, – 2017.– N 4 (42). – Pp. 34-38.
4. Tufail M., Ibrahim J., Melan M., and Nawi M. «Novel approach of quantifying energy security in terms of economic, environmental and supply risk factors». *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, – 57(1).– 2019.– Pp. 100-109.
5. Sarvut T. Constructive basis for the development of the extreme zones of siberia and the russian arctic, *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*,– 7(2).– 2018.– Pp. 75-78.
6. Ullah Z., Elkadeem M., Wang S. Power loss minimization and reliability enhancement in active distribution networks considering RES uncertainty, *International Journal of Renewable Energy Research*, – 9(3).– 2019. – Pp. 1-9.
7. Taheri B., Faghihlou M., Salehimehr S., Razavi F. A fast fourier transform-based method for power swing detection and distance relay malfunction prevention, *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, – 31(6).– 2020.– Pp. 1458-1468.
8. Xiao T., Zou Y., Xia Y., Tong W., Gao Y., Wang J. Design and tests of a super real-time simulation-based power system real-time decision-making emergency control system, *IET Generation, Transmission and Distribution*, – 14(9).– 2020. – Pp. 1714-1725.
9. Hosseini-Motlagh S., Samani M.R.G., Shahbazbegian V. Innovative strategy to design a mixed resilient-sustainable electricity supply chain network under uncertainty, *Applied Energy*, – 280 (2020).
10. Kinzhikeyev S., Rohács J., Rohács D., Boros A. Sustainable disaster response management related to large technical systems, *Sustainability (Switzerland)* 12(24).– 2020.– Pp. 1-25.
11. Malykhina G.F., Vasilyev A.N., Tarkhov D.A. Information measurement systems in the digital society, *Journal of Physics: Conference Series*, –1379(1).– 2019.
12. Istomin E., Abramov V., Burlov V., Sokolov A., Fokicheva A. Risk management method in parametric geosystems. В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018. Conference proceedings, – 2018.– С. 377-384.
13. Gao Y., Li M., Jiang P. Land-type mapping and its application to land-use zoning: A case study of jiangsu province, eastern china, *Journal of Maps*, – 16(2).– 2020.– Pp. 848-855.

14. Bozali N. Assessment of the soil protection function of forest ecosystems using GIS-based multi-criteria decision analysis: A case study in adıyaman, turkey, Global Ecology and Conservation. – 24 (2020). doi:10.1016/j.gecco.2020.e01271.
15. Burlov V., Andreev A., Gomazov F. Mathematical model of human decision - a methodological basis for the realization of the human factor in safety management. В сборнике: Procedia Computer Science. Postproceedings of the 9th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2018, – 2018. – Pp. 112-117.
16. Бурлов В., Грачёв М. Аналитическо-динамическая модель управленческого решения в социально-экономических системах на примере руководителя учебного заведения высшего образования. T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, – 2019. – Т. 13.– № 10.– С. 27-34.
17. Ali U., Shamsi M., Bohacek M., Purcell K., Hoare C., Mangina E., O'Donnell J. A data-driven approach for multi-scale GIS-based building energy modeling for analysis, planning and support decision making, Applied Energy 279. – 2020.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ГЕОРИСКОВ

Завгородний Владимир Николаевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены существующие подходы к содержанию понятия риска. Предложена систематизация природных рисков. Определены количественные меры оценки геориска в зависимости от вида неопределенности.

Ключевые слова: риск, геориск, гидрометеорологический риск, оценка риска.

FORMALIZATION OF THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF GEORISKS

Zavgorodniy Vladimir Nikolaevich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. Existing approaches to the content of the concept of risk are considered. The systematization of natural risks is proposed. The quantitative measures of georisk assessment are determined depending on the type of uncertainty.

Keywords: risk, geo-risk, hydrometeorological risk, risk assessment.

Введение. Термин «риск» обычно используют тогда, когда существует возможность негативных последствий. В некоторых ситуациях риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события. Этимологически слово «риск» является заимствованием из фр. *risqué* [1]. Синонимами риска являются опасность, возможность, вероятность, угроза. Риску противопоставляют понятие «шанс» как предполагаемое событие, способное принести какую-либо пользу, выгоду, прибыль. В зависимости от области применения понятие риск имеет различное содержание: действие наудачу, возможный убыток или ущерб, опасность.

В 1738 году Даниил Бернулли опубликовал статью, названную «Предложение новой теории измерения риска (*Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk*)», в которой он исследует Санкт-Петербургский парадокс вероятностными средствами.

ГОСТ Р 52551-2006 определяет риск как вероятность причинения вреда жизни, здоровью физических лиц, окружающей среде, в том числе животным или растениям, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу с учетом тяжести этого вреда.

Ситуативный подход состоит в неопределенности исхода деятельности и

возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха [2]. Этому содержанию риска соответствуют три основных взаимосвязанных значения:

1. Риск как мера ожидаемых неблагоприятных последствий при неуспехе в деятельности, определяемая сочетанием вероятности неуспеха и степени неблагоприятных последствий в этом случае.

2. Риск как действие, исходя из соотношения ожидаемого выигрыша и ожидаемого проигрыша при реализации действия.

3. Риск как ситуация выбора действия между двумя или несколькими возможными вариантами, исход которых неоднозначен и связан с возможными неблагоприятными последствиями: менее привлекательным, но более надежным, и более привлекательным, но менее надежным.

Экономическая трактовка рассматривает риск как опасность возникновения непредвиденных потерь ожидаемой прибыли, дохода или имущества, денежных средств в связи со случайным изменением условий экономической деятельности, неблагоприятных обстоятельств и т.п. Измеряется частотой, вероятностью возникновения того или иного уровня потерь [3]. Так, процентный риск — вероятность уменьшения нормы прибыли при изменении процентной ставки (ставки дисконтирования).

Риск в теории принятия решений — математическое ожидание функции потерь вследствие принятия решения, является количественной оценкой последствий принятого решения. Минимизация риска является главным критерием оптимальности в теории принятия решений. Критерий Сэвиджа — один из критериев принятия решений в условиях неопределённости, задает величину риска как теряемую при принятии неверного решения разность между максимальным результатом при данном исходе и результатом при выбранной стратегии.

Геориск — возможность ущерба и убытков из-за неблагоприятного воздействия факторов географической оболочки, охватывающая нижние слои атмосферы, верхние толщи земной коры, гидросферу.

Гидрометеорологические риски обусловлены опасными метеорологическими явлениями. К опасным метеорологическим явлениям относятся явления погоды, которые интенсивностью, продолжительностью и временем возникновения представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб отраслям экономики.

Экологический риск — вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде, или отдалённых неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на окружающую среду.

Соответственно географическим оболочкам, в которых складываются факторы, порождающие опасные природные явления (ОПЯ) g_{ij} , основные из них отнесены в таблице 1 к геологическим, гидрометеорологическим, гидрологическим и экологическим георискам g_i .

Обобщением риска на случай возможных благоприятных последствий

может служить понятие геошанса – возможности получения полезности или прибыли благодаря воздействию благоприятных факторов географической оболочки.

Таблица 1 - Геориски g_i и опасные природные явления g_{ij}

Геориски g_i	Опасные природные явления g_{ij}
Геологические риски	землетрясения, извержения, цунами, оползни
Гидрометеорологические риски	заморозки, похолодания, снегопады, гололед, лавины, ливневые осадки, штормы, шквалы, смерчи, пыльные бури, туманы, грозы, засухи, жара, наводнения, осадки, засуха, штормы
Гидрологические риски	Наводнения, паводки, половодье
Экологические риски	загрязнения, выбросы, сбросы, кислотные дожди, лесные пожары, торфяные пожары

В некоторых случаях риском называют само неблагоприятное событие как характеристику ситуации, имеющей неопределённость исхода. Риск зависит от неопределённости, то есть при росте неопределённости возрастает и риск. В этом смысле различие между риском и неопределённостью в описании ситуаций можно охарактеризовать тем, что в условиях риска возможные исходы известны, при этом некоторые из этих исходов более благоприятны, чем остальные. Вероятности исходов обычно можно найти, используя формулы разной сложности. В отличие от выбора в условиях риска выбор в условиях неопределённости подразумевает неизвестное множество исходов.

В практической деятельности для оценки рисков используют как характеристики возможности наступления неблагоприятного события, способного принести в ущерб, как и характеристики величины ущерба (таблица 2).

Таблица 2 - Меры μ_k оценки георисков

Неопределенность	Меры μ_k ОПЯ	Меры ущерба
вероятностная	вероятность	математическое ожидание функции потерь
статистическая	относительная частота	выборочное среднее (взвешенное) ущерба
байесова	субъективная вероятность логическая вероятность	ожидаемое значение функции потерь

Выбор меры для количественной оценки георисков, как правило, осуществляется на основе принципа неприемлемости. Если неприемлем сам факт опасного природного явления, то количественные меры оценки геориска не используют. Для одиночных точечных объектов неприемлемым является

любой ущерб, поэтому количественной мерой служит вероятность опасного природного явления в месте объекта. Для однородных групповых или территориально рассредоточенных объектов мерой оценки геориска служит ожидаемая величина ущерба в результате опасного природного явления.

Одной из основных проблем в оценке георисков при принятии решений является необходимость учета неопределенностей. С этой точки зрения возможен один из случаев:

1. принятие решений в условиях определенности, когда данные известны точно;
2. принятие решений в условиях риска, когда данные можно описать с помощью вероятностных распределений;
3. принятие решений в условиях неопределенности, когда данным нельзя приписать относительные веса (весовые коэффициенты), которые представляли бы степень их значимости в процессе принятия решений.

По существу, в условиях определенности данные надежно определены, в условиях неопределенности они не определены. Принятие решений в условиях риска, следовательно, представляет "промежуточный" случай.

Для описания вероятностной неопределенности геориска, если имеются статистические данные достаточного объема, используется вероятностно-статистический подход. В случае интервальной неопределенности величин неопределенность моделируется путем замены конкретных численных значений на интервалы, в которых содержатся рассматриваемые величины. Для многих задач принятия решений, в том числе в оценке георисков, могут быть использованы методы теории нечеткости.

В условиях теоретико-игровой неопределенности георисков при отсутствии достаточных наблюдений (игры с природой), методы на основе байесова подхода позволяют находить различными способами оценки вероятностей для ОПЯ как вещественнозначной функции степени уверенности, которая многократно уточняется по результатам ее осуществления или неосуществления.

Для априорной оценки байесовой неопределённости георисков могут использоваться методы анализа экспертных оценок гипотез об ОПЯ, основанные на оценках Фишберна [4], теории возможностей с применением нечетких множеств [5], теории перспектив [6] и т.п.

В теории перспектив значение каждого исхода умножается на весовой коэффициент решений. Весовые коэффициенты выводятся из выборов между перспективами, почти как субъективные вероятности выводятся из предпочтений в подходе Сэвиджа. Однако весовые коэффициенты решений – это не вероятности: они не подчиняются аксиомам теории вероятностей и их нельзя интерпретировать как меру измерения качества или мнения.

Для отношений нестрогого линейного порядка доказано существование числовой системы с отношениями неравенства и равенства между числами, описывающими свойства объектов.

Утверждение. На подмножестве некоторого множества георисков для

отношения порядка с заданными свойствами существует вещественнозначная функция, сохраняющая упорядочение на рассматриваемом множестве.

Если эта функция удовлетворяет аксиомам вероятности, то такая функция может служить количественной мерой для оценки возможности ОПЯ.

Упорядочение пар мер μ_k оценок из таблицы 2 для георисков g_{ij} из таблицы 1 как декартова произведения множества $M=\{\mu_k\}$ и множества $\Gamma=\{g_{ij}\}$:

$$(\mu_k) = M \times \Gamma,$$

где $M=(\mu_k(g_{ij}))$ – множество мер μ_k оценки георисков;

$\Gamma=(g_{ij})$ – множество опасных природных явлений g_{ij} , создающих геориски g_i ; порождают систему $M \times \Gamma = \{(\mu_k(g_{ij}))\}$ количественной оценки георисков.

Заключение. Применение рассмотренного подхода количественной оценки георисков в теории принятия решений, связанных с учетом опасных природных явлений, призвано способствовать формализации оценивания мер ущерба, а, следовательно, повышению обоснованности принимаемых на этой основе управленческих решений.

Список использованной литературы

1. Фасмер М. Этимологический словарь русского языка: В 4-х т.: Пер. с нем. - 2-е изд., стереотип. - М.: Прогресс, – 1987.
2. Словарь практического психолога. – М. АСТ Харвест. Головин С. Ю., – 1998.
3. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. — 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, – 1999. – 479 с.
4. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, – 1978.
5. Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Р. Р. Ягер. — М.: Радио и связь, – 1986.
6. Kahneman, Daniel, and Amos Tversky. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, XLVII (1979), – Pp. 263—291.

О ПРИМЕНЕНИИ ГОЛОСОВЫХ ПОМОЩНИКОВ В ОБРАЗОВАНИИ

***Матюхин Димитрий Сергеевич, Пашенцев Александр Александрович,
Русский Вадим Денисович***

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Обзорная статья содержит информацию о виртуальных ассистентах и возможностях их применения в сфере образования. Описываются наиболее распространенные технологии данного типа, а также методы их применения в образовательных системах. Предоставлена информация о перспективе развития голосовых помощников, а также о разработке подобной технологии в РГГМУ. Цель работы - рассмотреть современные виртуальные ассистенты и сформулировать требования к разработке подобной информационной технологии. Задачи - проанализировать перспективность применения голосового помощника в высших учебных заведениях и существующие решения для реализации приложения на их базе. Актуальность выбранной темы связана с высокой популярностью технологии и скоростью ее развития.

Ключевые слова: образование, виртуальный ассистент, голосовой помощник, электронные образовательные ресурсы, образовательные системы.

ON THE USE OF VOICE ASSISTANTS IN EDUCATION

***Matyukhin Dmitry Sergeevich, Pashentsev Alexander Alexandrovich,
Russkin Vadim Denisovich***

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The review article contains information about virtual assistants and the possibilities of this applications in the education sphere. The most common technologies of this type are described, as well as methods of their application in educational systems. Information is given about the prospects of development of voice assistants, as well as about the development of such technology at RSHU. The aim of the work is to consider modern virtual assistants and to formulate the requirements for the development of such information technology. Objectives - to analyze the prospects of application of voice assistants in higher educational institutions and existing solutions for implementing an application based on them. The relevance of the chosen topic is connected with the high popularity of the technology and the speed of its development.

Keywords: education, virtual assistant, voice assistant, electronic educational resources, educational systems.

Введение

Голосовой помощник является частным случаем применения виртуальных ассистентов, появившись в начале 2010-х годов, влияние данной технологии на рынок постоянно расширяется. Вместе с тем совершенствуется и сама технология - растет ясность речи ассистента, а за счет интереса людей к такого рода проектам увеличивается объем данных для роста эффективности обучения систем распознавания человеческой речи.

Легкая встраиваемость в неструктурированные информационные системы позволяет использовать голосовые помощники во многих сферах деятельности человека, где применение сложных математических моделей затруднено[1,2].

Одной из наиболее перспективных областей, в которых возможно внедрение голосовых ассистентов, является образование. Однако, на всех существующих этапах обучения эта технология остается недооцененной и зачастую даже не рассматривается к применению.

Перспективность технологии

Для получения вывода о перспективности применения голосового помощника, необходимо оценить следующие данные: возможности использования обучающимися данной технологии и улучшения учебного процесса за счет ее внедрения.

Согласно исследованиям, смартфонами обладают около 95% учащихся старших классов и студентов, что в совокупности с понятным интерфейсом и простотой использования делает виртуальные ассистенты доступными абсолютному большинству учащихся.

Вторым важным фактором является повышение продуктивности использования смартфона учащимся - за счет распространения полезных учебных технологий возможно повысить концентрацию школьников и студентов на получении знаний.[3]

По информации, полученной при проведении опросов на тему использования мобильных телефонов, зачастую даже сами учащиеся признают некоторые проблемы, создаваемые для них смартфонами. [4] Более 50% опрошенных соглашались, что электронные девайсы отнимают время от учебы и создают препятствия для подготовки дома. Статистические выводы по использованию студентами смартфонов представлены в таблице 1.

Согласно приведенным выше данным, многие учащиеся готовы использовать свои смартфоны для учебы, однако признают, что зачастую смартфон является преградой в обучении.

Таким образом, грамотно разработанное приложение, используемое студентом для получения любой возможной помощи в обучении может серьезно облегчить процесс получения знаний.

Таблица 1 - Влияние смартфонов на учебу

Утверждение	Согласны	Воздержались	Не согласен
Отнимает время от учебы в процессе подготовки к занятиям дома	19,74	34,21	46,05
Отвлекает во время занятий в аудитории (классе)	20,91	20,92	58,17
Снижает способность к концентрации внимания	28,76	28,10	43,14
Позволяет получать консультации от компетентных лиц (сверстников, педагогов)	47,06	30,72	22,22
Позволяет читать рекомендованные учебники, пособия и т. п	67,11	15,13	17,76
Обеспечивает коммуникацию по поводу учебы с одноклассниками (одногоруппниками) и педагогами	86,28	8,50	5,23
Помогает снять напряжение от учебы и расслабиться	50,33	29,41	20,26
Обеспечивает доступ к источникам информации (учебникам, сайтам)	90,85	3,92	5,23

Существующие технологии

На сегодняшний день виртуальные ассистенты перестали быть чем-то необычным и стали обыденностью для каждого из нас. Однако существует мнение, что они только начинают свой путь на рынке технологий.[5]

Со временем голосовых помощников становится все больше, а их применение не ограничивается какой-то одной областью.[6,7,8]

На данный момент можно выделить следующие разновидности вышеупомянутой технологии, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки:

1. Ассистент от Google.

Преимущества: совместимость с большим количеством разных устройств, достаточно корректные ответы, встроенный в систему переводчик, тесная работа с картами и довольно хорошо реализованный поиск нужных заведений.

Недостатки: является слабо адаптированным под русскую аудиторию ввиду отсутствия функционала, доступного только для пользователей США.

Перспективы развития: Google Ассистент скорее предназначен для американского рынка — там с его помощью можно заказывать еду на дом,

покупать билеты на различные мероприятия или бронировать столик в заведениях. К сожалению, этот ассистент является довольно примитивным, из-за чего во время общения с ним четко заметно, что собеседником является машина, а не человек.

Однако Google стремится к тому, чтобы сделать своего ассистента более человечным. В любом случае, это неплохой вариант для Android-пользователей, но в России можно найти и более продвинутого помощника.

2. Siri от Apple

Преимущества: интуитивно понятный и приятный дизайн, работа с картами, возможность звонить контактам из телефонной книги, возможность читать и отправлять сообщения, возможность планирования.

Недостатки: доступность только для техники компании Apple.

Перспективы развития: до анонса iOS 14 можно было называть Siri довольно примитивной из-за небольшого количества команд и медленной работой. В России Siri полноценно заговорила на русском в iOS 8.3. С лета 2016 года сторонние разработчики получили возможность добавлять к Siri функциональность.

Однако в 2020 году Siri стала знать куда больше фактов, а задержка ответов на быстрые вопросы значительно сократилась. Также она научилась читать и отправлять сообщения в мессенджеры без необходимости их запуска. В целом, функциональность стала куда более обширной. Apple явно намерена догнать упущенное и преуспеть на рынке.

3. Салют от Сбера

Преимущества: наличие собственного магазина приложений, гибкое управление финансовыми вопросами, а также возможность выбора характера ассистента из нескольких предложенных вариантов.

Недостатки: ограниченное число сторонних продуктов, поддерживающих Салют.

Перспективы развития: к концу апреля 2021 года голосовые помощники Салют продвинулись в анализе расходов клиента банка.

Система нейросетевого синтеза речи является собственной разработкой Сбера, основанной на рекуррентно-свёрточной архитектуре Tacotron/Tacotron-2. Ассистенты способны определять интонации и эмоциональный окрас речи. При подготовке ответа на запрос используется генеративная нейросетевая модель, позволяющая складывать новые предложения. Всё это без сомнений говорит о высокотехнологичном курсе Салюта.

4. Алиса от Яндекса

Преимущества: много различных навыков, проработанная система “человечности”, интересный и “живой” диалог, возможность поиска потерянного телефона, распознавание объектов по фото, работа с картами.

Недостатки: не всегда понимает, как ответить на простой вопрос, заданный разговорным стилем общения.

Перспективы развития: На сегодняшний день Алиса кажется самым прогрессивным голосовым помощником. Это неоспоримый факт, ведь ловкая

импровизация и поддержка разговора — действительно её важный и зачастую полезный плюс. Сложно даже представить, как далеко этот голосовой ассистент может зайти.[7]

По словам разработчиков, новая возможность создания своего бота чем-то напоминает ботов «Телеграм». Но если мессенджером сейчас пользуется 200 миллионов, то аудитория «Яндекса» перевалила за 18 миллионов пользователей в сутки. Это говорит о перспективности проекта. Тенденция к росту конверсии на сайтах с ботами от «Алисы» будет только расти.

Примеры использования

На данный момент голосовые помощники только входят в сферу образования, но уже сегодня благодаря им было автоматизировано много разнообразной работы.[8]

К примеру, голосовой помощник «Алиса» от Яндекс в 2018 году зачитывала «Тотальный диктант» в НГУ. Благодаря этому эксперименту в голосовой помощник был добавлен навык «Тотальный диктант».

В проекте «Московская электронная школа» также появилась Алиса, а именно навык голосового помощника «Дневник МЭШ». Благодаря этому навыку пользователи могут узнать много полезного: расписание уроков, оценки за день и домашние задания Московской электронной школы.

Университет Аризоны в свою очередь адаптировал голосовые технологии от Amazon Alexa для кампуса. Благодаря технологиям происходит онбординг новых студентов, информирование их о курсах и событиях университета. Помимо этого голосовой помощник может даже спеть гимн университета.

Применять голосовых помощников можно не только непосредственно в университетах и школах, но и при самообучении. К примеру, у «Алисы» в разделе образования около 243 навыков для самообучения, а у «Маруси» 23 навыка, но есть возможность помимо использования встроенных функций создать свои уникальные навыки.

Например, Алиса имеет такие навыки, как «Выбери профессию», который поможет выбрать профессию на основе пройденного теста, а также даст возможность познакомиться с новыми профессиями, которые будут востребованы в будущем.

Стоит отметить ассистента «Мир МИСиС», созданный на основе предоставляемых Сбером виртуальных ассистентов семейства Салют и инструментов разработки. Приложение создано для студентов национального исследовательского технологического университета «Московский университет стали и сплавов» и содержит в себе следующие функции. На рисунке 1 представлен внешний вид приложения.

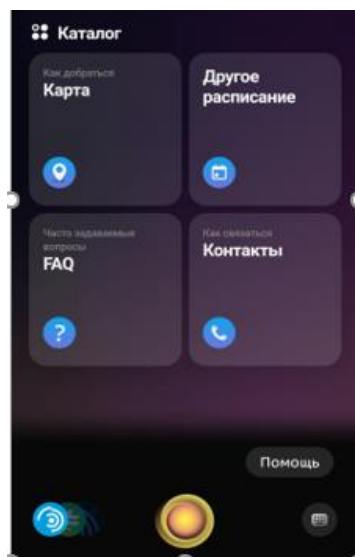


Рисунок 1 - Внешний вид приложения "Мир МИСиС"

Приложение имеет следующие функции:

- ответы на наиболее часто задаваемые вопросы(FAQ);
- навигация студентов по кампусу учебного заведения;
- представление расписания занятий в различных форматах;
- представление контактных данных сотрудников ВУЗа.

Применение голосового помощника в РГГМУ

На данный момент голосовые помощники не задействованы в информационной системе Российского государственного гидрометеорологического университета, однако сейчас, под руководством доцента кафедры прикладной информатики Колбиной О.Н., ведется активная разработка первой версии такого приложения для студентов ИИСиГТ.

Как показал опрос студентов первых курсов, наиболее проблематичными вопросами являются:

- навигация в различных корпусах ВУЗа;
- неудобный интерфейс для просмотра расписания;
- отсутствие информации по часто возникающим вопросам.

Результаты опроса представлены на рисунке 2.

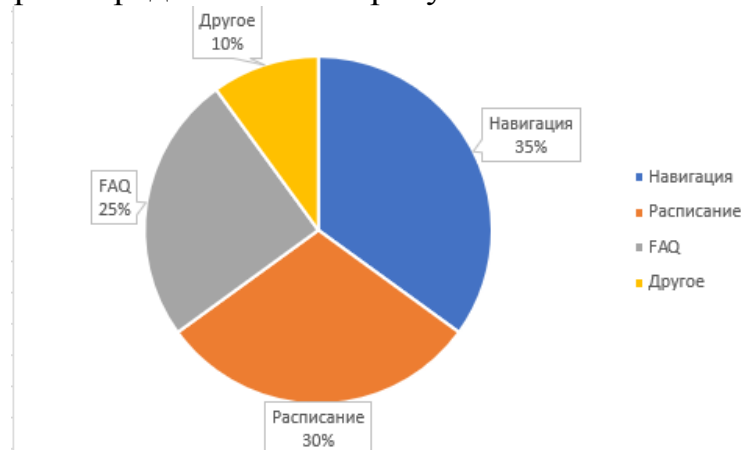


Рисунок 2 - Результаты опроса

Командой разработки было принято решение создания голосового помощника по аналогии с вышеупомянутым “Мир МИСиС”, поскольку Сбер предоставляет наиболее функциональные отечественные инструменты для работы, а также высокоразвитые системы распознавания и синтеза речи.

В первой версии приложения планируется реализовать ограниченный набор функций для ИИСиГТ:

1. Ответы на часто задаваемые вопросы. На рисунке 3 представлена логическая структура работы приложения.

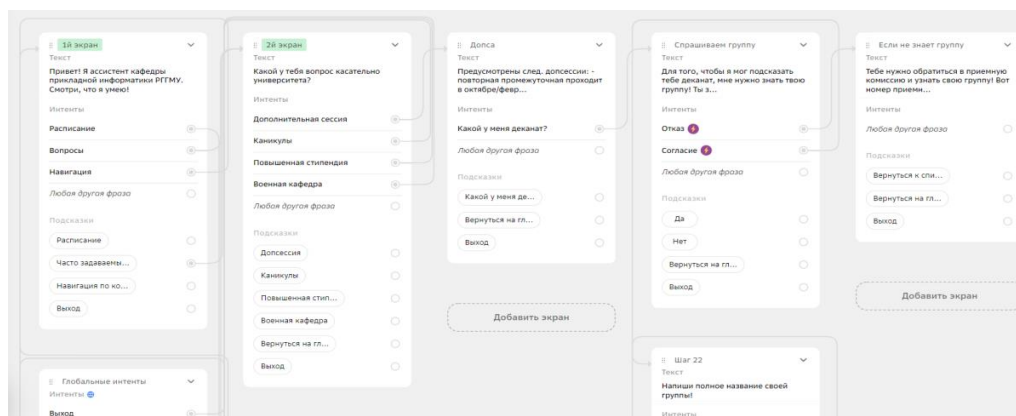


Рисунок 3 - Разработка структуры работы приложения

2. Навигация по аудиториям. На рисунке 4 показано тестовое представление карты корпуса с последующим озвучиванием пути до заданной аудитории голосовым помощником. В дальнейшем планируется более подробная система навигации.



Рисунок 4 - Навигация студента по запросу

3. Расписание также планируется к выпуску в первой версии приложения с ограниченной функциональностью. В текущем виде ассистент будет выдавать студенту прямую ссылку на расписание, выложенное на сайте ВУЗа. На рисунке 5 показан интерфейс такого события.

**Бот**

Расписание можно найти по следующей ссылке, выбрав нужный факультет:
<https://www.rshu.ru/university/stud/>

Рисунок 5 - Предоставление студенту расписания

Вывод

Образование - новая область для применения голосовых ассистентов. Однако на основе приведенных выше примеров можно заметить, что использование этой технологии в данной отрасли имеет большие перспективы.

Высокий темп развития технологий вместе с достаточной отзывчивостью аудитории делают возможным не только теоретические выводы о голосовых помощниках в образовании, но и реализацию подобных технологий, в том числе в образовательной среде РГГМУ.

Список использованной литературы

1. Базанов О.П., Честнов А.И., Барашок А.И., Абрамов В.М., Соколов А.Г., Попов Н.Н., Абрамов В.И., Богданов П.Ю., Яготинцева Н.В. Разработка архитектуры макета учебной морской информационной системы АРГО-РГГМУ. В сборнике: ИНФОГЕО-2018. Стратегическое управление развитием территорий. Сборник трудов V международной научно-практической конференции, – 2018. – С. 201-203.

2. Разработка программного обеспечение в составе макета учебной морской информационной системы АРГО-РГГМУ Барашок А.И., Барашок К.И., Честнов А.И., Базанов О.П., Абрамов В.М., Соколов А.Г., Попов Н.Н., Абрамов В.И., Богданов П.Ю., Яготинцева Н.В. В сборнике: ИНФОГЕО-2018. Стратегическое управление развитием территорий. Сборник трудов V международной научно-практической конференции, – 2018. – С. 204-207.

3. Ненахов И.Г., Черномор Е.А., Зацепина А.А. Оценка риска развития компьютерной зависимости у студентов медицинского университета // Символ науки. 2017. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riska-razvitiya-kompyuternoy-zavisimosti-u-studentov-meditsinskogo-universiteta>(дата обращения: 30.03.2022).

4. Колесников В.Н., Мельник Ю.И., Теплова Л.И. Мобильный телефон в учебной деятельности современного старшеклассника и студента // Непрерывное образование: XXI век. 2018. – №2 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnyy-telefon-v-uchebnoy-deyatelnosti-sovremennogo-starsheklassnika-i-studenta> (дата обращения: 30.03.2022).

5. Амиров Д.Ф., Мкртчян В.С., Мохова О.М. Проектирование электронной ресурсной базы виртуальной образовательной среды вуза //

Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018 №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-elektronnoy-resursnoy-bazy-virtualnoy-obrazovatelnoy-sredy-vuza> (дата обращения: 30.03.2022).

6. Механизм обучения нейронной сети для прогноза метеорологической обстановки при использовании гис Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колбина О.Н., Кочнев А.С., Михеев В.Л., Яготинцева Н.В. Геоинформатика, –2021.– № 1.– С. 22-29.

7. Модель оценки временных характеристик решения задачи в геоинформационной системе корабля Татарникова Т.М., Смирнов П.И., Яготинцева Н.В. Программные продукты и системы, – 2017. – № 4.– С. 711-714.

8. Методическое обеспечение формирования облика геоинформационной системы морского судна Смирнов П.И., Татарникова Т.М., Яготинцева Н.В. Информационно-управляющие системы, – 2017. – № 6 (91). – С. 52-57.

9. Аль-Кайси А.Н., Архангельская А.Л., Руденко-Моргун О.И. Интеллектуальный голосовой помощник Алиса на уроках русского языка как иностранного (уровень А1) // Филологические науки. Вопросы теории и практики.– 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnyy-golosovoy-pomoschnik-alisa-na-urokah-russkogo-yazyka-kak-inostrannogo-uroven-a1> (дата обращения: 30.03.2022).

10. Барашко Е.Н., Васильев А.С., Зубань С.В. Голосовые помощники // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. – 2020. №1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/golosovye-pomoschniki> (дата обращения: 30.03.2022).

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЦИКЛОМ ПРОИЗВОДСТВА ПО ДЕЛАМ ОБ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЯХ

Миронов Алексей Юрьевич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается синтез геоинформационного управления полным циклом стадий административного производства в виде непрерывной цепи Маркова, конкретизированной уравнениями Колмогорова-Чепмена. По результатам численного моделирования исследованы срывы стадийных процессов из-за дефицита ресурсов при конфликте сторон.

Ключевые слова: административная практика, геоинформационное управление, естественно-научный подход, синтез модели, уравнения Колмогорова-Чепмена, структурно-функциональное моделирование.

GEOINFORMATION MANAGEMENT OF PRODUCTION CYCLE ON AFFAIRS ABOUT ADMINISTRATIVE OFFENSES

Mironov Aleksey Yurievich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article deals with the synthesis of geoinformation management of a full cycle of management production stages in the form of a continuous Markov chain, given by the Kolmogorov-Chapman equations. According to the results of numerical simulation, the violations of stage processes due to resources lack in the of the conflict of parties were studied.

Keywords: administrative practice, geoinformation management, natural-scientific approach, model synthesis, Kolmogorov-Chapman equations, structural-functional modeling,

Производство по делам об административных правонарушениях – это цикл из процессуальных процедур, определенных законодательством РФ и ее субъектов, с взаимодействием 100 государственных органов в каждом регионе для расследования правонарушений, рассмотрения дел о них, исполнения решений по этим делам [1]. За истекшее тридцатилетие семикратный рост числа административных правонарушений, ухудшающееся качество доказывания признаков их события и состава, низкая собираемость административных штрафов поставили административную практику перед

необходимостью оптимального внедрения инноваций геоинформатики, централизации контроля и надзора, геолокации [2].

В настоящее время технологии стратегического, ретроспективного и оперативного геоинформационного мониторинга используются мультипортальными решениями ситуационного центра Системы Космического мониторинга МЧС России, информационно-аналитической системы «Деметра» Россельхознадзора, кадастровой карты Росреестра, интерактивной карты «Леса России» ФГБУ «Рослесинфорг», геопорталов ОАО «Российские железные дороги», ПАО «Лукойл», ООО «Газпромнефть-Сахалин», Ямало-Ненецкого автономного округа РФ. Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС» экстренного реагирования при авариях обеспечивает оперативный прием и обработку геолокационной информации о дорожно-транспортных и иных происшествиях на дорогах. Однако все они ориентированы на картографическое отображение по подведомственности или территориальности уже появившихся проблем и ущерба от них, не занимаясь профилактикой и предотвращением [3]. Указанная проблема породила актуальность поиска системообразующих требований к структуре и функциональности управления циклом стадий административного производства.

Административная практика функционально представима потоком дел, наполняемых на конвейере процессуальных процедур уполномоченным по исполнению административного законодательства доказательствами события и состава административного правонарушения, показаниями участников производства, итогами их рассмотрения и исполнения решений по ним. Ненадлежащий результат процессуальных процедур исходит из противоречивых выводов и вызывает срыв разумного срока административного процесса. Осознание существенных связей административного производства при принятии управленческого решения и познание закономерностей обеспечения разумного срока адекватны в рамках формальной аксиоматической теории, исходя из закона сохранения целостности объекта [4].

Абстрагированием невозвратными временными характеристиками декомпозиции принятия управленческих решений и агрегированием их в формальную аналитическую зависимость познается математическая модель (1) обеспечения в разумный срок стадий административного производства:

$$P = f(\zeta_i, \lambda_i, v_i, \omega_i, \xi_i, \mu_i, \tau_i), \quad (1)$$

где P – вероятность нахождения административной практики в каждом из базовых состояний i -ой стадии производства: исходном, целевом, идентификации или нейтрализации;

$\zeta_i, \lambda_i, v_i, \omega_i$ – среднестатистические интенсивности соответственно Целевого процесса, Появления проблемы, ее Идентификации или Нейтрализации на i -ой стадии административного производства, каждая из которых определяется структурой и функциональностью комплекса процессуальных процедур (работ), переводящих процесс из начального базового состояния через внутренние события к результирующему базовому состоянию;

ξ_i , μ_i , τ_i – среднестатистическая частота срывов соответственно доли Целевого процесса, Идентификации или Нейтрализации проблемы разумному сроку на i -ой стадии административного производства [5].

В обстановке конфликта сторон превентивная административная практика функционально обеспечивает максимум противодействия за счет комплексного применения защитной (геоинформационной), целевой (контрольно-надзорной) и обеспечивающей (геолокационной) подсистем управления, доминирующих соответственно на стадиях расследования, рассмотрения дел об административных правонарушениях и исполнения решений по этим делам [6].

В организационной системе административной практики бессчетные объективные и субъективные факторы делают производственные процессы случайными во времени, а их вероятностные характеристики – неопределенно изменяющимися. Вместе с тем, в интересах статистической оценки результатов деятельности по исполнению административного законодательства учетом административной практики фиксируется по каждому делу время начала и завершения административных процедур. Среднестатистический период протекания потока дел об административных правонарушениях сквозь процесс характеризует сложившуюся интенсивность процесса, оценка которой из динамики от прошлого в настоящее дает системе управления исходные данные для прогноза потребной интенсивности процесса в ближайшем будущем. Следовательно, административное производство и управление им представимо постадийной последовательностью функциональных структур марковских процессов с дискретными состояниями в непрерывном времени.

В стадийной структуре производственных процессов потоки дел об административном правонарушении минуют результирующие завершения процессуальных процедур, при каждом инициируя однородные события, следующие поодиночке друг за другом в случайные моменты времени прохождения дел, без каких-либо признаков группирования. В связи с марковским характером продвижения ординарных потоков дел об административных правонарушениях, преобразующие их процессы на стадиях производства и управлении близки к пуассоновским.

Структурно административное производство моделируется непрерывной марковской цепью Целевых процессов трех стадий, предназначенных в рамках наличных ресурсов для последовательного расследования, рассмотрения и исполнения решений по делам об административных правонарушениях. Просрочка разумного срока и выявление новых обстоятельств административного правонарушения в результате Целевого процесса на любой из стадий вызывают продление или прекращение производства, что сопряжено со срывом в исходное состояние непрерывной марковской цепи. Противодействующие участники генерируют пуассоновский процесс Появления проблем разумному сроку, который стремится вывести подведомственные дела из Целевого процесса соответствующей стадии производства. В соответствии с теорией функциональных систем Анохина-

Судакова уполномоченный по исполнению административного законодательства за счет управления добивается предназначения стадии производства последовательной реализацией пуассоновских процессов Идентификации признаков и Нейтрализации проблем [7]. Дефицит ресурсов провоцирует срывы Идентификации в исходное состояние непрерывной марковской цепи и срывы Нейтрализации на ее повторение.

Эффективность управления циклом стадий производства по делам об административных правонарушениях характеризуется непрерывной цепью Маркова через вероятности нахождения в исходном состоянии 0 и базовых состояниях каждой i -ой стадии: Целевом Π_i , Идентификации $И_i$, Нейтрализации $Н_i$. Рисунок 1 показывает, как базовые функциональности i -ой стадии административной практики связаны интенсивностями $\zeta_i, \lambda_i, v_i, \omega_i$ продвижения в административном процессе дел об административных правонарушениях и частотами его срывов ξ_i, μ_i, τ_i . На рисунке 2 размеченный граф состояний непрерывной марковской цепи составлен из состояний 0, $\Pi_i, И_i, Н_i$, определенных соответственно вероятностями $P_0, P_{\Pi_i}, P_{И_i}, P_{Н_i}$ нахождения в них, и пуассоновских процессов с интенсивностями $\zeta_i, \lambda_i, v_i, \omega_i, \xi_i, \mu_i, \tau_i$ перехода между этими состояниями для всех трех i -ых стадий управления циклом производства.

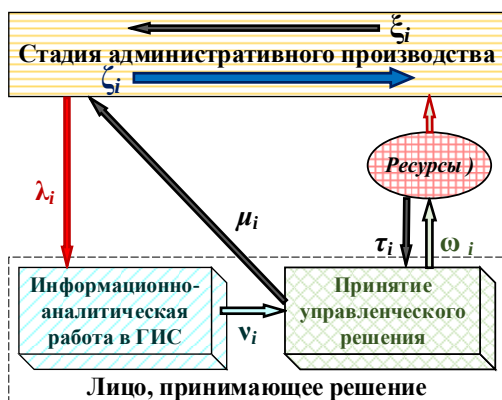


Рисунок 1 – Схема i -ой стадии

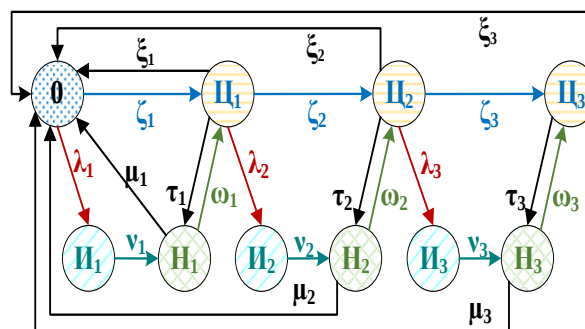


Рисунок 2 – Граф состояний цикла стадий

Согласно графу состояний математическая модель (1) обеспечения в разумный срок стадий производства по делам об административных правонарушениях конкретизируется системой (2) дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена при ограничении

$$P_0(t) + \sum_{i=1}^3 [P_{\Pi_i}(t) + P_{И_i}(t) + P_{Н_i}(t)] = 1:$$

$$\begin{aligned}
dP_0(t)/dt &= -[\zeta_1 + \lambda_1]P_0(t) + \xi_1 P_{\Pi_1}(t) + \xi_2 P_{\Pi_2}(t) + \xi_3 P_{\Pi_3}(t) + \mu_1 P_{H_1}(t) + \mu_2 P_{H_2}(t) + \mu_3 P_{H_3}(t); \\
dP_{\Pi_1}(t)/dt &= \zeta_1 P_0(t) - [\xi_1 + \tau_1 + \zeta_2 + \lambda_2]P_{\Pi_1}(t) + \omega_1 P_{H_1}(t); \\
dP_{\Pi_2}(t)/dt &= \zeta_2 P_{\Pi_1}(t) - [\xi_2 + \tau_2 + \zeta_3 + \lambda_3]P_{\Pi_2}(t) + \omega_2 P_{H_2}(t); \\
dP_{\Pi_3}(t)/dt &= \zeta_3 P_{\Pi_2}(t) - [\xi_3 + \tau_3]P_{\Pi_3}(t) + \omega_3 P_{H_3}(t); \\
dP_{H_1}(t)/dt &= \lambda_1 P_0(t) - \nu_1 P_{H_1}(t); \\
dP_{H_2}(t)/dt &= \lambda_2 P_{\Pi_1}(t) - \nu_2 P_{H_2}(t); \\
dP_{H_3}(t)/dt &= \lambda_3 P_{\Pi_2}(t) - \nu_3 P_{H_3}(t); \\
dP_{H_1}(t)/dt &= \tau_1 P_{\Pi_1}(t) + \nu_1 P_{H_1}(t) - [\mu_1 + \omega_1]P_{H_1}(t); \\
dP_{H_2}(t)/dt &= \tau_2 P_{\Pi_2}(t) + \nu_2 P_{H_2}(t) - [\mu_2 + \omega_2]P_{H_2}(t); \\
dP_{H_3}(t)/dt &= \tau_3 P_{\Pi_3}(t) + \nu_3 P_{H_3}(t) - [\mu_3 + \omega_3]P_{H_3}(t)
\end{aligned} \tag{2}$$

В связи со стремлением пуассоновских процессов к предельному стационарному режиму, на длительном промежутке производные по времени от вероятностей P_0 , P_{Π_i} , P_{H_i} , P_{H_i} нахождения в целевых состояниях непрерывной цепи Маркова становятся пренебрежимо малыми и дифференциальные уравнения (2) с учетом ограничения преобразуются в неоднородную систему линейных алгебраических уравнений. Ее решение методом Гаусса-Жордана (Гаусса-Зейделя) дает системообразующие атрибуты $\{P_{\Pi_i}, P_{H_i}, P_{H_i}, \text{ где } i=1, 2, 3\}$ управления стадиями производства в условиях дефицита ресурсов [8]. На их основе оценивается критерий (3) существования превентивного управления, указывающий относительно заданного уровня P^* на достаточность длительностей нахождения (долей потока) дел об административных правонарушениях на завершении производственных стадий в разумный срок:

$$\sum_{i=1}^3 P_{\Pi_i} \geq P^* \tag{3}$$

Математическое ожидание и дисперсия длительности процессуальных процедур оцениваются из аппроксимации нормальным или бета-распределением показателей административной практики. Сетевым моделированием из составляющих процедур определяются структура и критический путь в ней для каждого из процессов, образующих непрерывную марковскую цепь комплекса стадий административной практики. Математическое ожидание и дисперсия критического пути сетевой модели каждого их процессов рассчитывается исходя из нормального закона распределения и служат основой для оценки интегральной функцией Лапласа длительности процесса с установленной степенью надежности его осуществления. Частота срывов определяется в среднестатистических долях от интенсивности соответствующих процессов.

График на рисунке 3 демонстрирует снижение эффективности комплекса административного производства от срывов на более поздних стадиях, а также от срыва τ_i Нейтрализации по сравнению с аналогичным срывом μ_i Идентификации проблем разумному сроку.

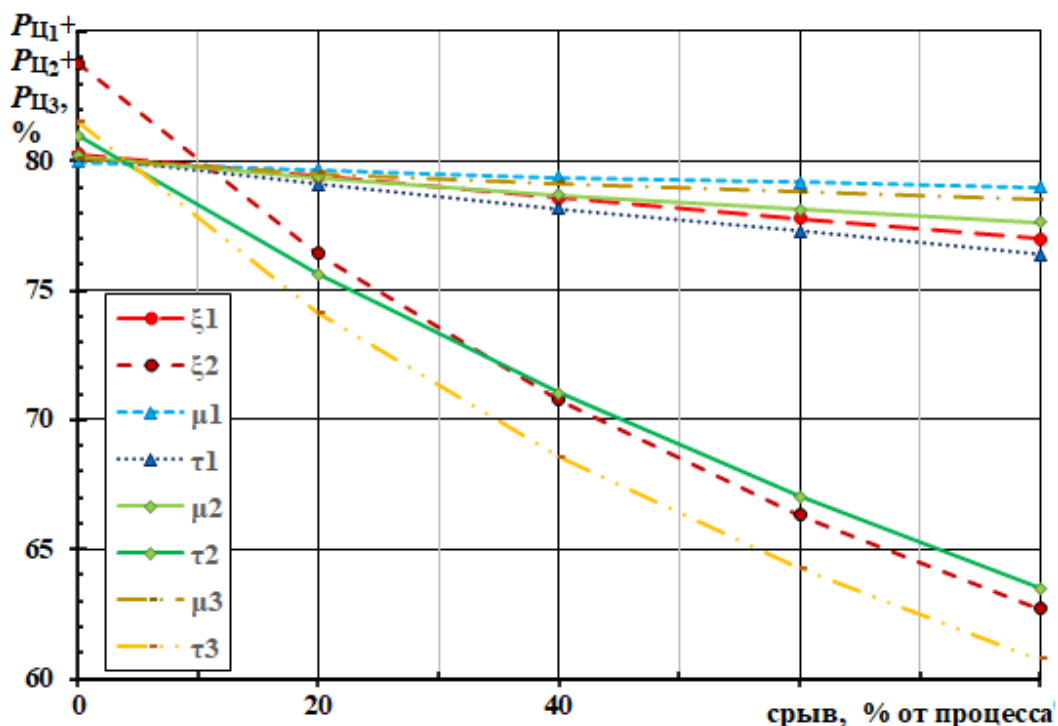


Рисунок 3 - Зависимость завершения стадий в разумный срок от срывов

Идентификации проблем разумному сроку. Срывы ξ_i , μ_i , τ_i процессов на поздних стадиях ведут к повторению большого объема процедур от начала административного производства и существенно снижают вероятность завершения в разумный срок комплекса производственных стадий. Стадийная ограниченность процессуальных средств Нейтрализации проблем затрудняет компенсацию в разумный срок невосполнимых затрат времени на неудачные попытки устранения нарушений. Между тем, недостатки распознавания с помощью геоинформационной системы (ГИС), обусловленные дефицитом адекватных ресурсов, могут частично исправляться другими средствами информационно-аналитических работ или целевыми процессами повторяемых стадий административного производства

Таким образом, для текущей обстановки, характеризуемой на каждой i -ой стадии производства интенсивностями ζ_i Целевого процесса и λ_i Появления Проблем, при нормативно установленных уровнях максимально допустимой частоты срыва ξ_i Целевого процесса и минимально достаточной эффективности P^* , критерий (3) позволяет контролировать достаточность и оптимизировать интенсивности v_i Информационно-аналитических работ и ω_i Принятия управленческих решений путем рационализации их моделирующих сетей административных процедур с учетом срывов частотой μ_i и τ_i , мотивированных дефицитом ресурсов.

Список использованной литературы

1. Лунеев В.В. Юридическая статистика / Институт государства и права РАН. – М.: Норма: ИНФРА-М, – 2017. – 448 с.
2. Миронов А.Ю. Проблемы реализации разумного срока уголовного судопроизводства в стадиях возбуждения уголовного дела и его

предварительного расследования // 70-я международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: В 4 ч. Ч. 2. Гуманитарные науки, – 2017. – С. 126-131.

3. Карпачевский М.Л. Дистанционный мониторинг деятельности сертифицированных компаний: по материалам ИТЦ «СканЭкс» / М. Л. Карпачевский. – М.: НП «Прозрачный мир и Гринпис России», – 2012. – 28 с.

4. Istomin E.P., Abramov V.M., Burlov V.G., Sokolov A.G., Fokicheva A.A. Risk Management Metod in Parametric Geosystems // 18th International Multidisciplinary Scientific Conference on EARTH & GEOSCIENCES. – Albena: SGEM, – 2018. – Pp. 377-384.

5. Andreev A.V., Burlov V.G., Grachev M.I. Information Technologies and Synthesis of the Management Process Model in the Enterprise // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf". – Vladivostok: EastConf, – 2019. – Pp. 1-5.

6. Бурлов В.Г., Миронов А.Ю., Миронова А.Ю. Применение геоинформационной системы в профилактике, выявлении и доказывании административных правонарушений / Ученые записки РГГМУ, – 2019. – № 57. – С. 126-146.

7. Анохин, П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М.: Директ-Медиа, – 2008. – 131 с.

8. Даутов Р.З., Тимербаев М.Р. Численные методы: Решение задач линейной алгебры и дифференциальных уравнений. – Казань: К(П)ФУ, – 2021. – 168 с.

ПРИМЕНЕНИЕ QGIS ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РИСКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ

Ндикумана Элиас

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

*Научный руководитель: Истомин Е.П., д.т.н., профессор, директор
Института информационных систем и геотехнологий РГГМУ*

Аннотация. Данная работа посвящена проблемам, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор в Бурунди. Также в ней будет показано применение QGIS для пространственного представления метеорологических данных на территории республики Бурунди. Показаны возможные решения для снижения рисков сельскохозяйственного сектора чтобы улучшить национальную экономику, которая почти полностью основана на сельскохозяйственном секторе.

Ключевые слова: Геоинформатика, разработка геоинформационную систему управления рисками сельскохозяйственных районов в Республике Бурунди.

APPLICATION OF QGIS FOR AGRICULTURAL RISK MONITORING IN THE REPUBLIC OF BURUNDI

Ndikumana Elias

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

*Supervisor: E.P. Istomin, PhD, Professor, Director of the Institute of Information
Systems and Geotechnologies*

Annotation. This work focuses on the challenges faced by the agricultural sector in Burundi. It will also show the application of QGIS for spatial representation of meteorological data in the Republic of Burundi. It shows possible solutions to reduce the risks of the agricultural sector in order to improve the national economy, which is almost entirely based on the agricultural sector.

Keywords: geoinformatics, developing a geo-information system for agricultural risk management in the Republic of Burundi.

Введение

Сельское и лесное хозяйство - это области, в которых активно используются пространственные данные, необходимые для реконструкции пространственно-временной изменчивости поверхностных условий. Очень хорошее знание этих мест является основополагающим как с экономической,

так и с экологической точки зрения. В этом контексте использование инструментов ГИС уже давно присутствует при работе с пространственными изображениями. QGIS используется в сельском и лесном хозяйстве и предлагает множество преимуществ при принятии решений. Благодаря этим функциональным возможностям QGIS имеет огромные преимущества в управлении природными рисками, особенно связанными с сельским хозяйством. Эта статья предоставляет доступ к данным и инструментам, а также скриншоты всех окон, которые иллюстрируют манипуляции, необходимые для визуализации территорий, подверженных риску наводнений в Республике Бурунди в сезон урожая В 2010-2019 гг.

Для достижения целей данной статьи были предприняты следующие шаги:

Во-первых, мы выбрали лучшую версию QGIS, которая подходит для нашего исследования, проста в обращении и может быть загружена бесплатно. Для этой цели была выбрана версия QGIS 2.2 valmiera. Эта версия позволяет создавать проекты, которые могут состоять из нескольких слоев пространственных данных, а также представляет несколько инструментов, обеспечивающих обработку спутниковых данных и других видов пространственных данных.

После загрузки и установки QGIS было решено использовать спутниковые данные, которые позволяют визуализировать физический аспект рельефа Бурунди. Поскольку Бурунди является горной страной, визуализация физического аспекта Бурунди имеет огромное преимущество в управлении рисками, связанными с наводнениями, поскольку это основной риск, который влияет на развитие сельского хозяйства уже более десяти лет.[1,2]

1. Получение и подготовка исходных данных

Во-первых, для работы с QGIS необходимо найти слой шейп-файла, соответствующий области поиска. Для данной работы областью поиска является Республика Бурунди. В данной работе было предпочтительно загрузить их через веб-сайт «GADM Maps and Datas», который предлагает загрузить слой с проекцией, соответствующей территории, занимаемой Бурунди.

Для загрузки слой с проекцией, соответствующей территории, занимаемой Бурунди, использована ссылка https://gadm.org/download_country.html, затем выбрана страна Бурунди для данного исследования. Чтобы загрузить эти проекции, нужно нажать "Shapefile", получит слои, которые можно импортировать в QGIS, чтобы начать исследовательскую деятельность, касающуюся Бурунди.

Во-вторых, загружены спутниковые снимки, с помощью которых можно визуализировать рельеф Бурунди. Для достижения этой цели использован сайт EarthExplorer, который позволяет бесплатно загружать спутниковые снимки в формате geotiff, которые можно легко обрабатывать с помощью QGIS. Данные могут быть загружены только после регистрации на этом сайте. [3]

После завершения регистрации можно приступить к загрузке, указав границы, ограничивающие область исследования, в которую необходимо иметь данные. В данном случае областью исследования является территория, занимаемая Республикой Бурунди.

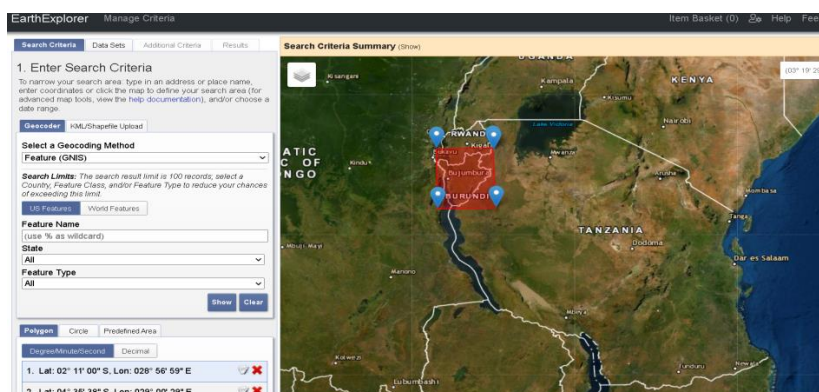


Рисунок 1 - Границы, ограничивающие область исследования

Чтобы загрузить данные, нужно перейти в меню "Data sets", дальше выбрать "Digital Elevation", потом нажать на "SRTM", затем выбрать "SRTM 1-arc second global" и нажмите на "Results". Если нажимать на "Results", можно получить доступ ко всем изображениям, которые нужно загрузить.

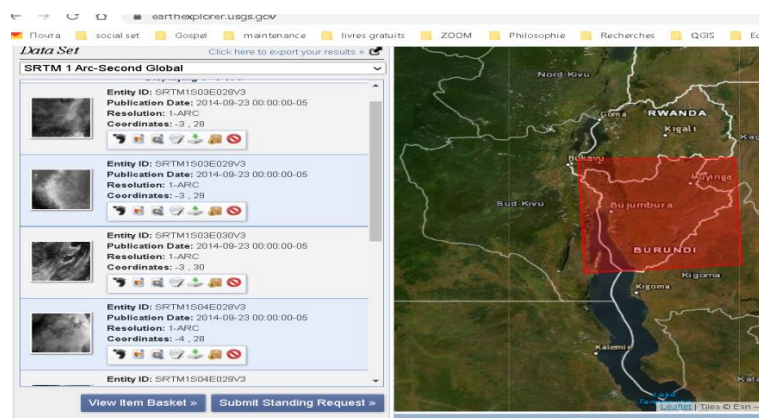


Рисунок 2 - Представление спутниковых слоев для загрузки

Поочерёдно нажимая на кнопку «Скачать»  каждой записи, загрузите все 6 необходимых тайлов и разместите их в отдельной папке в своей рабочей директории.

2. Создание проекта и обработка данных.

Обработка данных начинается с запуска программного обеспечения и создания нового проекта. После запуска программы можно изменить язык интерфейса в соответствии с потребностями. В данном случае, использован французский язык.

Чтобы создать новый проект, в главном меню нужно нажимать на «projet», затем выбирать «nouveau», и это дает пустое окно, в которое можно добавить слой. Для этой работы, сначала был добавлен слой, который соответствует территории, занимаемой Бурунди.

Чтобы добавить слой, существует несколько методов. В данном случае был выбран следующий метод: в файле, соответствующем необходимым слоям, сначала надо выбрать из данных, загруженных с сайта GADM, слои с форматом шейп-файла (shapefile), который нужно использовать, и перетащить их в маленьком окошке справа командного окна, чтобы получилась карта, представляющая территорию района исследования.

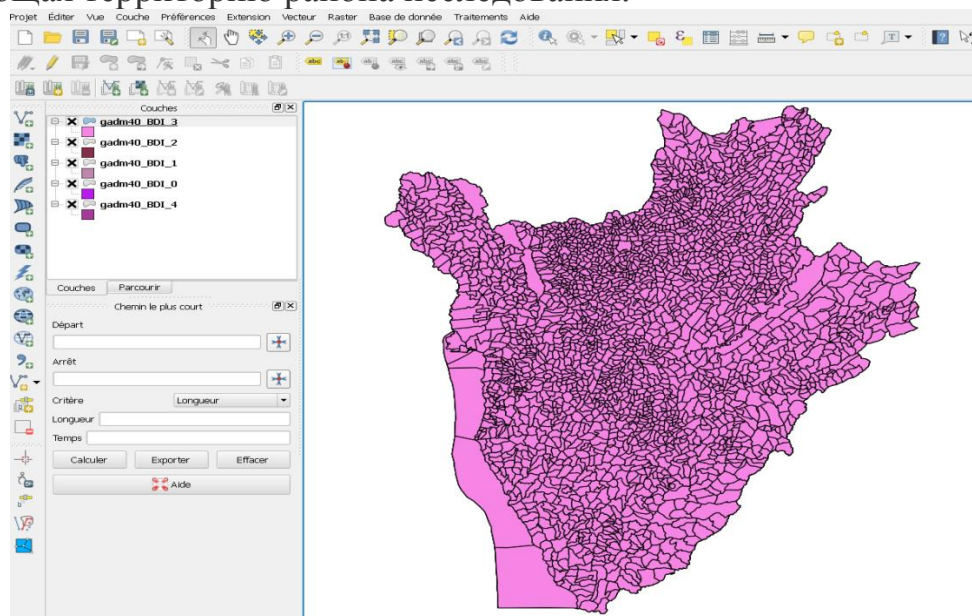


Рисунок 3 - Вид проекта с 5 слоями

Как видно на изображении выше, существует 5 слоев: gadm40_BDI_0, gadm40_BDI_1, gadm40_BDI_2, gadm40_BDI_3, gadm40_BDI_4, которые представляют собой соответственно контур Республики Бурунди, физическую карту провинций Бурунди, карту коммун Бурунди и карту холмов Республики Бурунди.

Поскольку эта работа будет сосредоточена на анализе распределения пространственных данных в различных провинциях, составляющих Бурунди, необходимо провести предварительную обработку слоя "gadm40_BDI_1" для анализа информации, содержащейся в этом слое.[4]

Чтобы достичь цели, просто выделите этот слой и щелкните на нем правой кнопкой мыши, затем нажмите « table d'attribut ».

ID_0	COUNTRY	ID_1	NAME_1	VARNOME_1	NL_NAME_1	TYPE_1	ENGTYPE_1	CC_1
0	Burundi	BDI_1_1	Burundi	NULL	NULL	Province	Province	003BDI01
1	Burundi	BDI_2_1	Bujumbura Bu...	NULL	NULL	Province	Province	003BDI02
2	Burundi	BDI_3_1	Bujumbura Bu...	Usumbura	NULL	Province	Province	003BDI03
3	Burundi	BDI_4_1	Bururi	NULL	NULL	Province	Province	003BDI04
4	Burundi	BDI_5_1	Cankuzo	NULL	NULL	Province	Province	003BDI05
5	Burundi	BDI_6_1	Cibitoke	NULL	NULL	Province	Province	003BDI06
6	Burundi	BDI_7_1	Gitega	NULL	NULL	Province	Province	003BDI07
7	Burundi	BDI_8_1	Karuzi	NULL	NULL	Province	Province	003BDI08
8	Burundi	BDI_9_1	Kayanza	NULL	NULL	Province	Province	003BDI09
9	Burundi	BDI_10_1	Kinsho	NULL	NULL	Province	Province	003BDI10
10	Burundi	BDI_11_1	Malamba	NULL	NULL	Province	Province	003BDI11
11	Burundi	BDI_12_1	Muramoya	NULL	NULL	Province	Province	003BDI12
12	Burundi	BDI_13_1	Muyinga	NULL	NULL	Province	Province	003BDI13
13	Burundi	BDI_14_1	Mwaro	NULL	NULL	Province	Province	003BDI14
14	Burundi	BDI_15_1	Nyaga	NULL	NULL	Province	Province	003BDI15
15	Burundi	BDI_16_1	Rutana	NULL	NULL	Province	Province	003BDI16
16	Burundi	BDI_17_1	Ruyigi	NULL	NULL	Province	Province	003BDI17

Рисунок 4 - Вид информации, найденной в слое «Провинции Бурунди»

2.1 Обработка спутниковых данных для анализа рельефа Бурунди.

Для того чтобы проанализировать рельеф Бурунди, необходимо объединить слой, соответствующий территории Бурунди, и слой спутниковых снимков, показывающих физический аспект Бурунди.

Для этого сначала необходимо наложить изображения спутниковых данных, загруженных с сайта «EarthExplorer», на слой, относящиеся к карте Бурунди. Ниже можно увидеть результат.

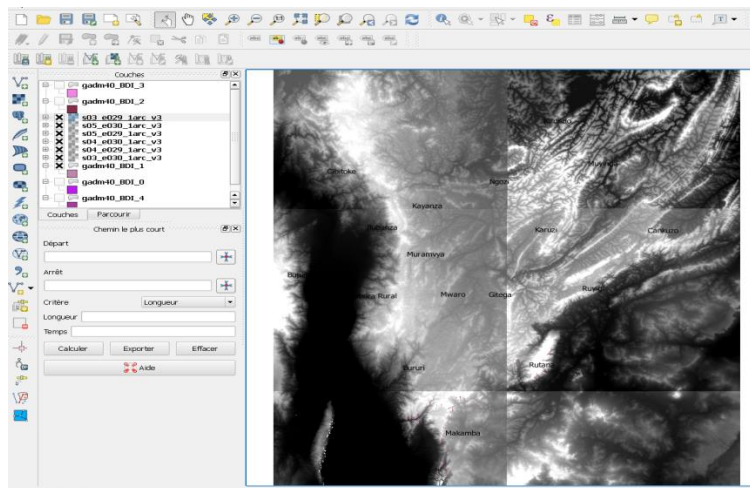


Рисунок 5 - Наложение спутниковых снимков и слоев карты Бурунди

Для того чтобы объединить спутниковые снимки и слой республики, необходимо сначала зайти в главное меню QGIS вверху и выбрать вкладку "Raster", в этой вкладке нажать на "divers", затем "fusionner", а затем "Construire un Raster Virtuel", после чего откроется следующее окно, в котором необходимо отметить «Utiliser les rasters visibles comme entrée» и, наконец, указать название выходного файла и нажать на «OK».

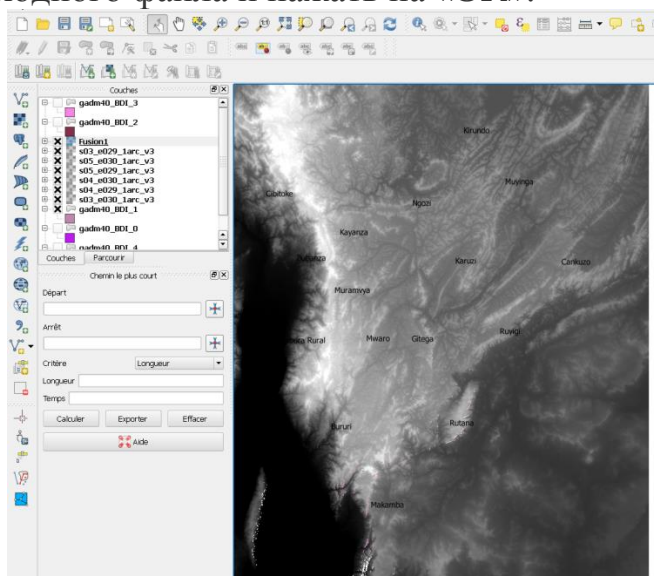


Рисунок 6 - Результат объединения спутниковых снимков и слой республики

Чтобы полностью объединить виртуальный слой, созданный с помощью слой «fusion1», нужно выполнить следующие действия: в главном меню нужно нажать на вкладку «raster», затем "Extraction" и, наконец, «découper». В открывшемся окне нужно указать исходный файл, которым является "fusion1", затем указать каталог и название файла на вкладке ««fichier en sortie», затем для режима нарезки выбрать «couche de masquage» и указать слой, соответствующий маскированию (в данном случае это слой "gadm40_BDI_1").

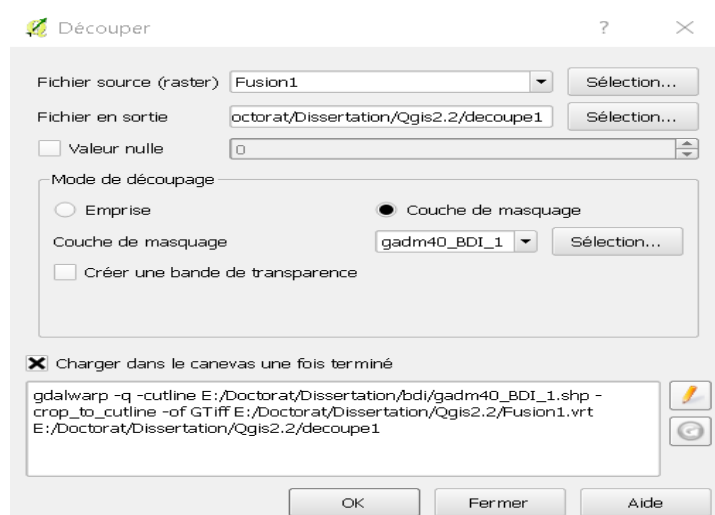


Рисунок 7 - Окно на котором нужно нажать чтобы завершить процесс полного объединения спутниковых снимков и слой республики

Чтобы получить результат этого объединения, нужно нажать на "ОК"

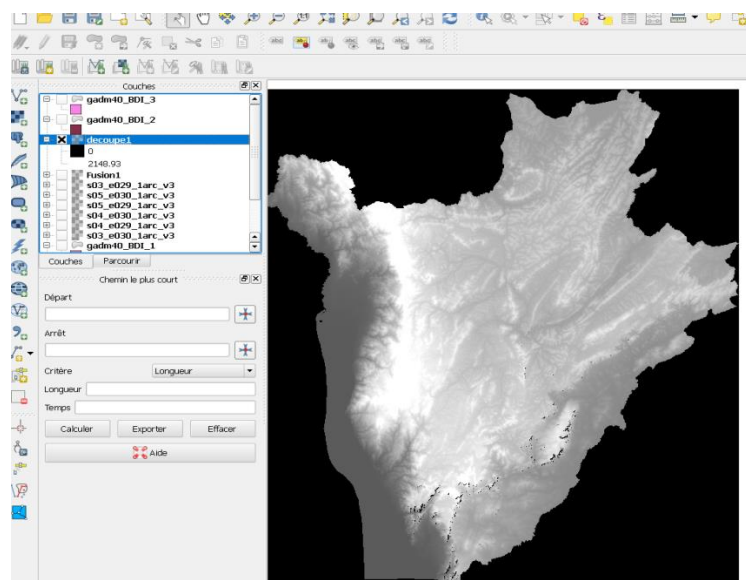


Рисунок 8 - Результат соединения спутниковых изображений с слоем карты республики Бурунди

Результатом слияния карт является космическое изображение видимого диапазона, и его можно интерпретировать, как и любой другой спутниковый снимок, сделанный в видимом диапазоне. В соответствии со свойствами космических изображений, сделанных в видимом диапазоне, более высокие

места ярче, а более низкие - темнее. В то же время QGIS предлагает несколько возможностей для анализа рельефа территории с помощью спутниковых снимков. Вот несколько примеров.

Мы можем либо определить цвета, которые мы хотим иметь, в зависимости от высоты над уровнем моря. Для этого в свойствах слоя необходимо установить различные цветовые диапазоны, которые нужно иметь в зависимости от высоты над уровнем моря.

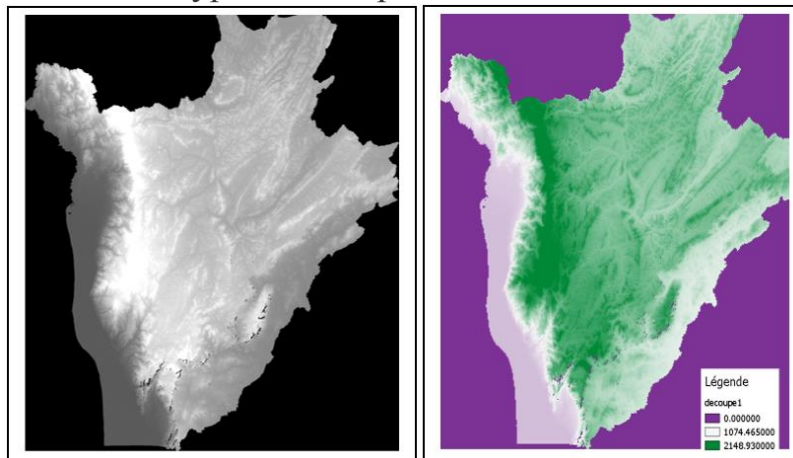


Рисунок 9 - Пример отображения результата соединения спутниковых изображений с слоем карты республики Бурунди

Рельеф также может быть проанализирован с помощью опции анализа рельефа в меню «Raster», затем «analyse», затем «DTM/DEM (модель рельефа)» или через меню «Raster», затем «analyser de terrain» и, наконец, «relief». В качестве результатов получены следующие изображения:

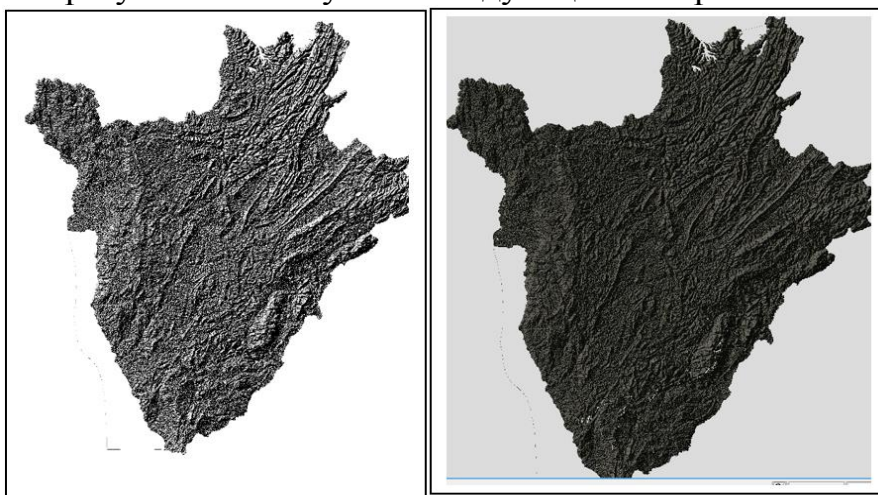


Рисунок 10 - результат соединения спутниковых изображений с слоем карты республики Бурунди, полученный с помощью модели рельефа и анализа поверхности

Анализируя четыре вышеупомянутых изображения, которые показывают результат обработки спутниковых снимков, можно наглядно увидеть различные рельефы, образующие республику Бурунди. Как подтверждает его прозвище "Страна тысячи холмов", приведенные выше изображения показывают, что большая часть территории Бурунди состоит из гор. Согласно этим результатам,

низкие высоты находятся на западной границе Бурунди вдоль побережья озера Танганьика и на восточной границе Бурунди в природном регионе Кумосо. Их высота немного ниже 1000 метров над уровнем моря. Как показывают наши результаты, менее гористый регион расположен в центре Бурунди, состоящий в основном из провинции Гитега. Эту часть составляют центральные плато высотой около 1500 метров над уровнем моря.

3. Недостатки сельскохозяйственного сектора в Бурунди.

Учитывая, что экономика Бурунди в значительной степени основана на сельском хозяйстве, необходимо подумать о различных методах управления рисками, которые наиболее часто применяются, особенно в сезон выращивания урожая. В зависимости от наличия осадков в Бурунди выделяют три сезона выращивания сельскохозяйственных культур: сезон А, который длится с сентября по январь; сезон В, который длится с февраля по май; и сезон С, который длится с июня по сентябрь.

Сельское хозяйство Бурунди сталкивается с рядом проблем. Среди проблем, препятствующих продуктивности сельского хозяйства, - фактор изменения климата, который проявляется в нескольких аспектах, и отсутствие методов управления земельными ресурсами. Иногда во время посевного сезона могут идти сильные дожди, которые вызывают эрозию и сток; в другое время может пройти незначительный дождь, который наносит большой ущерб многим растениям. Изменения в характере и количестве осадков, а также в температуре оказывают важные последствия для сельскохозяйственного производства, особенно для зерновых культур.

Согласно отчету об изменении климата в Бурунди, подготовленному Министерством водных ресурсов, окружающей среды, землеустройства и городского планирования в сотрудничестве с Германской кооперацией, опубликованному в 2014 году, и отчету об оценке национального потенциала по снижению рисков, обеспечению готовности и реагированию на чрезвычайные ситуации в Бурунди, опубликованному правительством Бурунди в 2013 году, Бурунди очень уязвима к природным рискам и бедствиям, связанным с изменением климата. В последние годы в стране наблюдаются экстремальные погодные и климатические явления: продолжительная засуха на севере страны и все более катастрофические наводнения в низинах. Из-за сложного рельефа на большей части территории страны Бурунди часто страдает от оползней и обвалов, которые становятся все более серьезными в результате ливневых осадков. [5]

В этой статье, используя QGIS, сделано пространственное представление количества осадков на территории Бурунди во время посевного сезона В для каждого года с 2010 по 2019. Причина такого выбора заключается в том, что сезон посева представляется наиболее важным в экономике Бурунди, поскольку именно в этот сезон выращиваются многие важные культуры, такие как рис, фасоль и т.д.

Согласно отчетам, опубликованным правительством Бурунди в сотрудничестве с партнерами с 2011 года, В сезон посева В существует риск

водной эрозии, особенно для равнины Имбо, которая находится вблизи большого горного хребта, занимаемого регионом Мигва, охватывающего уступы, возвышающиеся над равниной Рузизи (равнина Имбо) и простирающиеся на запад Бурунди на полосе, идущей от границы с Руандой до примерно 40 км к югу от города Бужумбура. В тот же посевной сезон в северном регионе Бурунди, особенно в провинции Кирундо, выпадает недостаточное количество осадков. Эти два риска являются причиной низких урожаев сельскохозяйственной продукции и, следовательно, лежат в основе продовольственной недостаточности в некоторых регионах Бурунди. [5]

Для анализа пространственного распределения осадков за вегетационный период был сформирован документ Excel в формате CVS, содержащий названия метеостанций, компьютерные идентификаторы, широту, долготу, высоту над уровнем моря и колонки с суммами осадков за сезон В с 2010 по 2019 год.

Чтобы импортировать слой в проект, в главном меню QGIS нужно нажать « couche », затем нажмите « ajouter une couche de texte délimité », после чего появится окно, в котором необходимо указать название файла, а также указать долготу в поле X и широту в поле Y и, наконец, нажать Ok.

После добавления слоев метеорологических данных на карту, данные должны быть интерполированы с помощью QGIS, чтобы показать изменение количества осадков для сезона урожая В на всей территории.

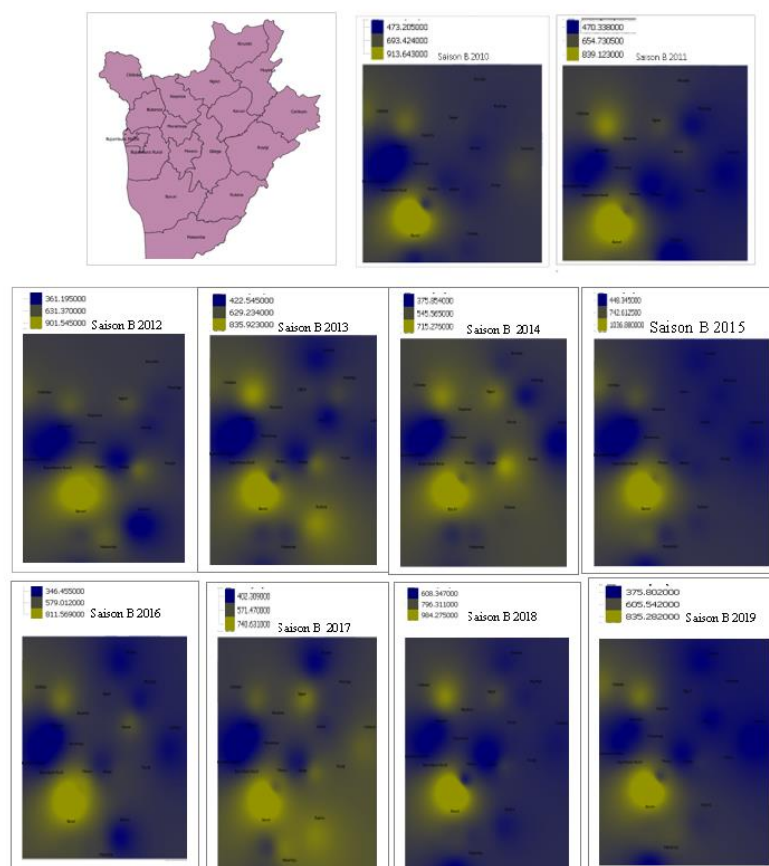


Рисунок 11- Результаты интерполяции количества выпавших осадков в Бурунди в сезон В с 2010 по 2019

Как видно можно заметить при анализе 10 снимков, показывающих изменение количества осадков над территорией Республики Бурунди, на западе Бурунди (провинция Бубанза, Бужумбура Мэр, Бужумбура Рурал и Румонге) выпало больше нормы осадков, в то время как в провинции Кирундо и в восточных провинциях страны выпало меньше нормы.

Как свидетельствуют отчеты, предоставленные правительством Бурунди с 2010 года по настоящее время, западный регион страны испытывает водную эрозию с 2010 года из-за сильных дождей. В тех же отчетах говорится, что в северных регионах выпадает недостаточное количество осадков. [5]

Заключение

Наиболее эффективным способом борьбы с водной эрозией почвы является содействие инфильтрации для ограничения стока. На обрабатываемых почвах фермеры могут применять различные методы обработки для увеличения неравномерности почвы и ограничения стока. Например, посадка растительного покрова позволяет не держать почву голой в течение нескольких месяцев, тем самым ограничивая ее подверженность воздействию ветра и дождя.

Для почв, которые были преобразованы или покрыты непроницаемыми поверхностями, также можно использовать методы, позволяющие воде инфильтрироваться: поощрять использование инфильтрующихся покрытий для парковок, устанавливать зеленые крыши, устраивать канавы или заросшие травой долины для инфильтрации дождевой воды, создавать дождевые сады и т.д.

Для преодоления рисков, связанных с недостаточным количеством осадков, важно внедрять превентивные и резервные меры управления. Также необходимо выращивать растения, которые могут выдержать недостаток осадков. Также можно использовать технику орошения, чтобы уменьшить негативные последствия

Список использованной литературы

1. Dr Stefan Liersch, Rocio Rivas, Kerstin Fritzsche. Rapport sur le changement climatique au Burundi. Режим доступа: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_au_burundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf [дата обращения : 03.03.2022]
2. Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колобин О.Н., Присяжнюк С.П., Соколов А.Г., Яготинцева Н.В. Введение в геоинформационное управление, – 2021. –С. 4-11.
3. Соколов А.Г., Истомин Е.П. и др. Феномен геоинформационного управления и принципы его реализации //- Вестник СПбГУ, серия 7 пуск 4, СПОГУ, – 2014.– С. 180-182.
4. Соколов А.Г., Истомин Е.П., Слесарева Л.С., Зоринова Е.М., Геоинформационные аспекты управления рисками устойчивого развития приморской рекреационной территории // Известия ЮФУ. Технические науки, – № 9 – 2013.

5. Des plans de contingence communaux actualisés pour des communautés plus résilientes aux catastrophes. Режим досупа: <https://www.bi.undp.org/content/burundi/fr> [дата обращения: 01.04.2022]

О РОЛИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Полюхович Максим Алексеевич

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Воздушная линия электропередач является территориально-распределенным объектом, функционирующим в открытом пространстве. Поэтому данный объект подвержен воздействию комплекса неблагоприятных метеорологических явлений, прогноз которых является первостепенной задачей в рамках обеспечения надежного и качественного электроснабжения потребителей. В данном исследовании рассматривается возможность применения геоинформационных систем в качестве инструмента прогнозирования характеристик гидрометеорологических факторов, в частности, способствующих появлению гололедно-изморозевых отложений, с целью принятия своевременных мер по предотвращению обледенения проводов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, гололед, географические пространственные данные, мониторинг, гидрометеорологические факторы

ON THE ROLE OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN FORECASTING ICING OF OVERHEAD POWER LINES

Polyukhovich Maxim Alekseevich

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. An overhead power line is a geographically distributed object operating in an open space. Therefore, this object is exposed to a complex of adverse meteorological phenomena, the forecast of which is a primary task within the framework of ensuring reliable and high-quality electric power supply to consumers. This study considers the possibility of using geographic information systems as a tool for forecasting hydrometeorological factors characteristics, in particular, contributing to the appearance of icy-frost deposits, in order to take timely measures to prevent icing of wires.

Keywords: electric power system, ice, geographical spatial data, monitoring, hydrometeorological factors

В условиях рыночной экономики проблемы обслуживания и эксплуатации изношенного электрооборудования являются, несомненно, актуальными. Воздушные линии электропередач (ВЛЭП) характеризуются большой протяженностью и представляют собой те элементы энергетической системы, которые в наименьшей степени надежны. Суммарное за год количество отключений на ВЛЭП, относящейся к средней энергосистеме, достигает значения до сотни, на сетях, питающихся от нее, – исчисляется тысячами. Большая доля повреждений ВЛЭП заключается в обрывах проводов и в коротких замыканиях [1-2]. Гололедно-изморозевые отложения (ГИО), покрывающие поверхность провода, дополнительно оказывают механическую нагрузку на конструкции ВЛЭП (опоры и провода). Нахождение поврежденных участков линии и ремонтно-восстановительные работы считаются действительно сложными технологическими операциями с высокими затратами временных ресурсов. В связи с этим при проектировании сетей электроэнергетической отрасли в обязательном порядке следует принимать во внимание влияние ГИО на прочностные свойства элементов, составляющих часть электрической сети. Аварии, вызванные ГИО, рассматриваются как одни из самых трудно-устраняемых по причине зимнего бездорожья, мерзлого грунта, а также рассредоточенности поврежденных участков линии на большой территории. Данный вид аварии занимает 35% от всех видов повреждений на ВЛЭП с продолжительностью приблизительно 40% от суммарного числа аварийных отключений [3-4].

Проблема учета ГИО при эксплуатации объекта частично решается на этапе проектирования ВЛЭП, стоимость строительства и эксплуатации которых во многом зависит от возможной толщины стенки гололеда на рассматриваемой территории, так как ГИО являются одной из наиболее значительных внешних механических нагрузок на провода ВЛЭП, что сказывается на технико-экономических показателях объекта. В случае умышленно неверного или ошибочного расчета возможной гололедной нагрузки возрастает вероятность обрыва провода в процессе эксплуатации ВЛЭП, что естественно приведет к перебоям в процессе электроснабжения (и, вероятней всего, на длительный промежуток времени) с последующими затратами на ремонтно-восстановительные работы.

Говорить об устойчивом функционировании объекта можно только при условии обеспечения его безопасности, что в рамках данного исследования подразумевает применение такого подхода управления, который гарантировал бы стабильную эксплуатацию ВЛЭП в условиях возможного обледенения. Таким образом, с целью обеспечения надежного и качественного электроснабжения потребителей посредством воздушных линий электропередач необходимо получать своевременные и полные данные о характеристиках гидрометеорологических факторов. С этой целью необходимо разрабатывать и внедрять информационные технологии определенного назначения [5]. Наиболее активно совершенствующейся и развивающейся областью информационных технологий за несколько последних десятилетий

является геоинформационная система, под которой понимается система сбора, хранения, анализа и графической визуализации географических пространственных данных и связанной с ними информации о рассматриваемых объектах [6].

Так как распределение деструктивных гидрометеорологических явлений по земной поверхности имеет неоднородный и комплексный характер, то полноценный и качественный пространственный анализ, по всей видимости, может быть эффективно реализован только при помощи современных географических методов, например, технологий ГИС [7].

Сфера использования ГИС раздвинулась от классических топографических съемок до получения данных о состоянии окружающей природной среды, которые непрерывно изменяются в пространстве и во времени. ГИС связывает традиционные процессы получения и обработки информации с базами данных (БД) – запрос и анализ – с возможностью визуализации и географического анализа, которыми располагает карта. Это объясняет уникальные и неограниченные преимущества использования ГИС для решения колоссального ассортимента задач, относящихся к изучению явлений и событий, обзору и прогнозированию их наиболее вероятных последствий, разработке и планированию стратегических решений по управлению процессами, в том числе обеспечения безопасности объектов [8]. Географические пространственные данные в ГИС содержатся в формате комплекта слоев, которые сгруппированы по принципу их тематического назначения. Такой интегральный подход дает преимущество ГИС использовать как векторные, так и растровые данные. При этом полученные электронные базы данных характеризуются мобильностью и гибкостью при обработке и анализе приличного объема непрерывно изменяющейся информации. Вдобавок ГИС непосредственно связаны с различными информационными системами и применяют их данные с целью анализа характеристик разного рода объектов [7].

К отличительным особенностям географических пространственных данных относится их достаточно большой объем, так как они содержат распределение определенных характеристик в пространственных и временных интервалах. Инструменты ГИС реализуют дополнительные функциональные способы картографической визуализации с целью представления динамики течения опасных и неблагоприятных процессов. Такое представление данных позволяет за относительно короткое время проанализировать и отобразить на карте полученную информацию, демонстрирует наглядную визуализацию направленности определенных гидрометеорологических факторов (например, ветра) и способствует комплексному анализу информации о характеристиках протекания и проявления опасностей разнообразного происхождения. Исключительной ценностью ГИС считается то, что создание карты не является конечным результатом, фактически продолжается содержательное дополнение все новыми и новыми данными.

На рисунке 1 представлена предлагаемая схема проблемно-ориентированной ГИС, на основе которой можно разработать систему прогнозирования обледенения воздушных линий электропередач. Перед специалистом, управляющим процессом передачи электроэнергии, ставятся следующие задачи:

- мониторинг гидрометеорологических факторов;
- прогнозирование обстановки на территории расположения участка ВЛЭП;
- принятие решений в условиях неопределенности состояния окружающей среды;
- инвентаризация элементов электроэнергетической системы (аккумулирование информации о расположении спецтехники, мобильных модульных подстанций, резервных источников снабжения электроэнергией и т.д.).

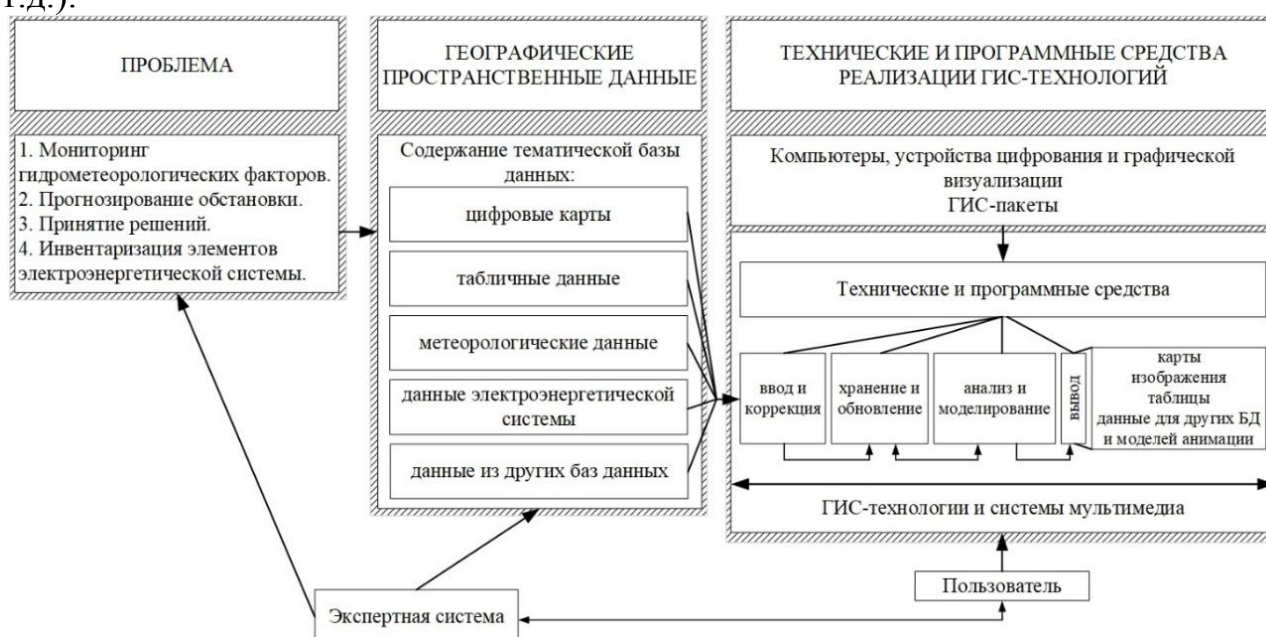


Рисунок 1 – Схема проблемно-ориентированной ГИС

Вышеперечисленные задачи можно решить путем применения ГИС. Одним из несомненных достоинств ГИС является возможность наложения слоев, содержащих различную информацию, друг на друга, что позволяет совместить объект управления с другими различными объектами окружающей среды. С целью предотвращения образования ГИО на поверхности провода возможно рассмотрение интересующего участка земной поверхности в ракурсе прогнозирования гидрометеорологической обстановки.

Используя технические и программные средства, пользователь может получать, анализировать и обрабатывать необходимую информацию для принятия решения в условиях неопределенности окружающей среды. Отслеживая информацию о характеристиках гидрометеорологических факторов на период 2-3 дня (наиболее достоверный метеорологический прогноз), можно оценить вероятность появления ГИО на проводах ВЛЭП, так как каждый вид ГИО образуется при определенном комплексе гидрометеорологических

факторов. Например, кристаллическая изморозь формируется при температуре от -5 до -30 °С, скорости ветра от 0 до 3 м/с и тумане [9]. В случае возможного проявления угрозы в виде обледенения проводов, ожидаемого по результатам анализа данных ГИС, руководитель ответственного подразделения способен принять адекватное ситуации управленческое решение, например, заранее подготовить оперативную бригаду для выезда на установленный участок линии.

В исследовании рассмотрена возможность применения ГИС для получения информации о характеристиках гидрометеорологических факторов на территории расположения ВЛЭП с целью своевременного предотвращения гололедообразования на проводах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90225.

Список использованной литературы

1. Захаренко С.Г., Малахова Т.Ф., Захаров С.А., Бродт В.А., Вершинин Р.С. Анализ аварийности в электросетевом комплексе // Вестник КузГТУ, – 2016. – №4 (116). – С. 94-99.
2. Хабрат А.Р., Никишин А.Ю. Анализ аварийности в распределительных сетях среднего напряжения филиала АО «Янтарьэнерго» Западные электрические сети // Вестник молодежной науки, – 2019. – №2 (19). – С. 15.
3. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г., Багметов А.А. Влияние гололедно-ветровых нагрузок на надежность линий электропередачи Кубани // Инновационная наука, – 2016. – № 6-2. – С. 137-142.
4. Елизарьев А.Ю., Валеев А.Р., Громова Г.А. Совершенствование системы контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушных линиях электропередачи // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU, – 2016. – №1 (71). – С. 136-142.
5. Andreev A.V., Burlov V.G., Grachev M.I. Information technologies and synthesis of the management process model in the enterprise // В сборнике: 2019 International Science and Technology Conference «EastConf», EastConf 2019. – 2019. – 8725428-p.
6. Шарапов Н.Р. Эффективность применения ГИС-технологий // Наука, образование и культура, – 2018. – №6 (30). – С. 15-16.
7. Мельник М.А., Волкова Е.С., Фузелла Т.Ш. ГИС-технологии как эффективный инструмент для оценки негативных природно-климатических факторов, лимитирующих развитие аграрного природопользования // Научный журнал КубГАУ, – 2016. – №124. – С. 650-661.
8. Burlov V.G., Lepeshkin O.M., Lepeshkin M.O., Gomazov F.A. The control model of safety management systems // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference «TechSys 2019» - Engineering, Technologies and Systems, – 2019. – 012088-p.
9. Бучинский, В.Е. Атлас обледенения проводов / В.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеиздат, – 1966. – 114 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Романова Анастасия Дмитриевна

*ФГБОУ ВО “Российский государственный гидрометеорологический
университет”, г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В этой обзорной статье рассматривается применение информационной системы с внедренным искусственным интеллектом («3D модель» для разработки 3D модели детали, тех. процессов, документации, связанных с ее изготовлением), излагается описание работы создания искусственного интеллекта, применение искусственного интеллекта в промышленности. Цель работы: на основе информационного материала об искусственном интеллекте и сканирующих устройствах выявить главные принципы создания информационной системы «3D модель». Задачи: проанализировать составляющие информационной системы, точно определить ее модель поведения. Актуальность данной разработки обособливается влиянием ее на мощности производства, увеличением объемов изготавливаемой продукции. Применение такого рода информационной системы на производстве выведет его на новый уровень.

Ключевые слова: промышленность, интеллектуальная машина, искусственный интеллект, информационные технологии, нейронные сети.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRY.

Romanova Anastasia Dmitrievna

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. This review article discusses the use of an information system with embedded artificial intelligence ("3D model" for the development of a 3D model of a part, technical processes, documentation related to its manufacture), describes the work of creating artificial intelligence, the use of artificial intelligence in industry. The purpose of the work: on the basis of information material about artificial intelligence and scanning devices to identify the main principles of creating an information system "3D model". Tasks: to analyze the components of the information system, to accurately determine its behavior model. The relevance of this development is determined by its influence on the production capacity, an increase in the volume of manufactured products. The use of this kind of information system in production will take it to a new level.

Keywords: industry, intelligent machine, artificial intelligence, information technology, neural networks.

Введение

Задачи производства с каждым годом становятся намного сложнее из-за этого необходимость решения проблем по средствам информационных технологий возросла. Применение информационных технологий помогает достичь более высокого качества сбора и анализа производственной информации.

В промышленной индустрии внедрение ИИ-технологий связано с автоматизацией производственных процессов и сокращением штата сотрудников. Машина с системой искусственного интеллекта собирает детали, легко запоминая последовательность действий и правильность крепления элементов, безошибочно рассчитывает данные и оптимизирует сборку: в каком порядке расположить детали, как надежнее их закрепить.

Данные для создания искусственного интеллекта

Всего существует три вида искусственного интеллекта: слабый искусственный интеллект выполняет узкоспециализированные задачи, любая непредсказуемость ведет к сбою в их решении (боты); сильный искусственный интеллект- они максимально схожи с человеческим мозгом (на данный момент таких не существует, но компьютеры Watson близки к тому, чтобы стать примером такого класса машин); совершенный искусственный интеллект, который превзойдет возможности человека.

Есть некоторые основы искусственного интеллекта, и эти основные важные концепции искусственного интеллекта включают:

- Большое количество данных. Важно знать методологии, архитектуры данных, уметь их применять, алгоритмы сбора данных. Для обучения искусственного интеллекта необходимо иметь большой объем данных
- Машинное обучение. Здесь необходимо умение вводить данные, алгоритмы в систему так, чтобы она могла самостоятельно применять решения.
- Глубокое обучение и нейронные сети. Нейронные сети имитируют функционирование человеческого мозга. Здесь несколько нейронов соединены и сложены вместе. Затем в эти сети вводятся веса, в которых каждый нейрон имеет вес. Таким образом, когда предоставляется ввод, результат находится, и для получения лучших результатов настраиваются веса.

Алгоритм создания искусственного интеллекта

Есть несколько алгоритмов глубокого обучения, которые имитируют разные части мозга. Наиболее распространенными из них являются:

- Искусственные нейронные сети (или просто сеть прямого распространения): действует как височная доля человеческого мозга, отвечающая за долговременную память и принятие решений.
- Рекуррентные нейронные сети: имитирует теменную долю мозга, отвечающую за кратковременную память, часто используемую во время разговоров.
- Обычные нейронные сети: работают как затылочная доля мозга, отвечающая за зрение.

- Обратное распространение. Именно благодаря обратному распространению система может «учиться». Машина учиться на собственных ошибочных решениях. Система принимает решение, происходит ошибка, после ошибки вес нейронов обновляется, каждого по отдельности. Здесь пригодятся концепции частных производных и цепного правила.

- Настройка обучения с подкреплением. В этой настройке сеть принимает решение, если оно правильное, она математически вознаграждается, в обратном случае математически наказывается. Таким образом, настройка обучения с подкреплением позволяет системе учиться, на основе принятых решений.

Искусственный интеллект в промышленности

Внедрение интеллектуальных машин в промышленность называется автоматизацией производства. Производства заинтересованы в системах, применяющих интеллектуальные решения для уменьшения воздействия на технологический процесс с возможностью достижения значительного экономического эффекта. Однако, пока что полного доверия искусственный интеллект не вызывает из-за степени ответственности перекладываемой на него. При неправильном определении процессов работы с материалом решения интеллектуальной машины могут привести к дополнительным затратам времени, материально-технических и энергетических ресурсов, а соответственно и незапланированным финансовым затратам. Из-за этого необходимо знать о специфике производства и подходах обучения интеллектуальной системы.

Огромное влияние на создание искусственного интеллекта имеет область, в которой работает производство. Машине нужно учитывать уникальные условия производства, оборудования и управления данными:

1. Сбор и анализ данных. На многих производствах до сих пор стоит оборудование, установленное в середине прошлого века без возможности автоматического отслеживания его состояния.

2. Разработка моделей. Недостаточно иметь экспертизу только в методах машинного обучения, нужно знать физико-химические особенности процесса производства и быть экспертом в предметной области.

3. Тестирование решения и проведение опытной эксплуатации. Никакой тестовый стенд не заменит возможности получения достоверной обратной связи на реальном непрерывном производстве, при этом ошибки должны быть сведены к минимуму, чтобы не привести к сбою технологического процесса.

4. Разработка интерфейсов пользователей. Необходимо подробное, но наглядное описание применяемых решений в работе.

В данный момент есть Ашинский металлургический завод, на котором стали применять искусственный интеллект. На производстве выбрали сформулировали гипотезу с помощью, которой смогли снизить человеческий фактор и повысить эффективность производства: «Возможно значительно снизить себестоимость продукции при достижении целевых физико-химических характеристик конечной продукции, если в режиме реального времени помогать сталевару на участках ДСП и АКП рассчитывать оптимальный набор и точную массу ферросплавов, обеспечивая при этом минимальную стоимость

материалов.» При этом внедрение на металлургическом производстве ИИ снижает риски, связанные со здоровьем сотрудников. Повышает их уровень безопасности на производстве, снижает возможность появления хронических заболеваний возможных из-за контактов с химическими веществами.

Основываясь на этой гипотезе, была построена математическая модель:

1. Расчет коэффициентов усвоения химических элементов. Для их определения была построена модель машинного обучения, которая по набору исторических данных и данных, загружаемых в режиме реального времени, вычисляла актуальные коэффициенты усвоения легирующих элементов для текущей плавки.

2. Расчет оптимального набора и массы ферросплавов, необходимой к отдаче в расплав. Оптимизационная модель, обеспечивающая подбор оптимальной смеси ферросплавов, обладающей минимальной стоимостью, при заданных ограничениях в виде целевого химического состава и стоимости материалов.

3. Прогнозирование химического состава. Модель, проводящая расчет с учетом рассчитанных коэффициентов усвоения, текущего состава стали и рассчитанных масс ферросплавов для прогнозирования состава стали в случае исполнения рекомендации.

4. Восстановление пропущенных данных. Для обеспечения устойчивой работы модели необходимо обеспечить поступление всех критически важных данных. По причине сбоя датчиков, сбоя оборудования, ошибок или задержек в работе программного обеспечения, установленного на производстве, данные могут поступать не в полном объеме, иметь пропуски и искажения. Для решения данной задачи мы разработали модель машинного обучения, которая по набору исторических и загружаемых в режиме реального времени данных восстанавливала пропущенные данные.

Описание информационной системы «3D модель»

Многие эксперты отмечают, что искусственный интеллект применяется в дискретном производстве. Это авиа-машино- и приборостроение. Из этих сфер входят около 44% проектов, которые внедряют искусственный интеллект.

На втором месте процессное производство: металлургия, химия, нефтехимия, нефтепереработка и нефтедобыча. Здесь реализуется около 22% проектов с ИИ. И всего 11% относятся к электроэнергетике. Остальные 23% находятся на ранней стадии разработки. Поэтому рассматриваемая ниже информационная система с искусственным интеллектом будет очень способствовать развитию промышленности в области интеллектуальных решений.

Что из себя представляет разработка. «3D модель» - информационная система со сканирующим устройством, внедренным искусственным интеллектом для распознавания элементов чертежей. Сканирующее устройство обрабатывает документацию, чертежи и воссоздает, отображает в электронном виде с возможностью редактирования пользователем всех загруженных файлов. На основе баз данных с ГОСТ, ЕСКД, стандартов предприятия искусственный

интеллект создает макет в 3D формате с возможностью редактирования свойств детали (внешнего вида) как непосредственно на самом чертеже, так и при помощи графического встроенного редактора. Далее искусственный интеллект обрабатывает, построенную модель, документацию с описанием детали (ее химическим составом и дальнейшим применением) и создает на основе базы данных ЕСТД, ГОСТ технологические процессы и инструкции для ее обработки и создания. На этом этапе инженер может редактировать всю документацию, разработанную для отображения дальнейших тех. процессов на производстве. Заполняется отчетность на основе подгруженных шаблонов предприятия, инженер может вносить свои правки или создавать свои шаблоны.

Цель информационной системы: определение необходимого типа и кол-ва материала для деталей, способа обработки, написание соответствующих тех. процессов для обработки детали, организации обработки детали.

Таким образом для создания информационной системы «3D модель» необходимо сканирующее устройство, встроенный искусственный интеллект, базы данных с ЕСТД, ЕСКД, ГОСТ, стандартами предприятия.

Пользователями данной системы будут являться программисты-инженеры, инженеры, работающие на авиастроительных, машиностроительных, металлургических заводах.

Вывод

Рассматриваемая информационная система «3D модель» на данный момент не имеет аналогов. Ее применение на производстве несомненно упростит работу инженеров на предприятии, но добавит новые возможности для специалистов. Такой системе необходимо постоянное обновление информации, чем непосредственно будет заниматься специалист. Теперь инженеру необходимо будет иметь навыки программирования и работы с базами данных. Однако искусственный интеллект может хранить в себе знания в определенной сфере, анализировать, поступающую информацию, находить решения для поставленных задач. Тем самым сокращая количество операций, которые должен осуществлять специалист, уменьшая возможность ошибок, связанных с человеческим фактором, увеличивая производительность и скорость работы.

Список использованной литературы

1. Бессмертный И.А Искусственный интеллект – СПб: СПбГУ ИТМО, – 2010 – 132 с.
2. Механизм обучения нейронной сети для прогноза метеорологической обстановки при использовании ГИС, Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колбина О.Н., Кочнев А.С., Михеев В.Л., Яготинцева Н.В., Геоинформатика, – 2021.– № 1 .– С. 22-29.
3. Появится ли когда-нибудь искусственный интеллект с сознанием? <https://hi-news.ru/computers/poyavitsya-li-kogda-nibud-iskusstvennyj-intellekt-s-soznaniem.html> [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://vc.ru/p/neural-networks>

4. Брокман Д. Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте М.: - Альпина нон-фикшн, – 2017. – 552 с.

5. Баррат Дж. Последнее изобретение человечества: Искусственный интеллект и конец эры *Homo sapiens*. – М.: Альпина нонфикшн, – 2015 – 304 с.

6. Джордж Л.Ф. «Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем», 4-е издание. Пер. с англ. – М.: «Издательский дом «Вильямс», – 2003 г. – 432 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОТЕХНИКЕ

Селезнёва Александра Сергеевна

*Ставропольский филиал ФГБОУ ВО «Московский педагогический
государственный университет», г. Ставрополь, Россия*

Аннотация. В данной статье рассмотрен пример использования информационного моделирования, которое позволяет людям, процессам и инструментам эффективно взаимодействовать на протяжении всего срока реализации проекта.

Ключевые слова: BIM-проектирование, информационное моделирование, геотехника.

INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN GEOTECHNICS

Selezneva Alexandra Sergeevna

*Stavropol Branch of the Moscow Pedagogical State University,
Stavropol, Russia*

Annotation. This article describes an example of using information modeling, which allows people, processes and tools to interact effectively throughout the entire duration of the project.

Keywords: BIM-design, information modeling, geotechnics.

Технология информационного моделирования зданий и сооружений (BIM – Building Information Modelling) получила широкое применение в Российской Федерации начиная с 2016 года, оказав значительное влияние на сферы проектирования и строительства. При этом BIM не входит в число самостоятельных программных продуктов или решений и не относится к категории конкретных методических обязательств при разработке системы проектирования. Главным инструментом технологии можно назвать комплексные меры, которые основаны на современном программном обеспечении в сфере проектирования и возможности решения вопросов управления с помощью информационных ресурсов, взаимодействиях и коммуникации, что образует фундамент в принципах формирования и работы проектных команд, включая внутренние процессы организации в течение жизненного цикла объекта.

Проектирование по технологии BIM считается крайне востребованным направлением в строительстве в настоящее время. Создаваемые цифровые модели получают широкое применение не только в решении задач стандартного проектирования, но и могут использоваться в таких областях, как

гражданская оборона, урбанистика, охрана окружающей среды, сферы энергетики и жилищно-коммунального хозяйства.

Моделирование информационного характера подразумевает использование метода цифрового представления, как физических, так и функциональных особенностей объекта, что обеспечивает разработку совместного способа работы при создании информационной модели в виде цифрового двойника, который, по сути, является прототипом реального физического объекта на протяжении всех его стадий развития и жизненного цикла [1]. Использование систем информационного моделирования предполагает задействование насыщенных информацией моделей объектов в трехмерной визуализации, а также возможность взаимодействия со средой общих данных, что в комплексе обеспечивает эффективный доступ и упрощает процессы обмена информацией между всеми участниками инвестиционно-строительного проекта, значительно снижая риски ошибок, способствуя устойчивому росту предсказуемости проекта в целом.

В глобальных условиях современного мира, разработка и развитие информационного моделирования тесно сопрягается с увеличением потребности информационных технологий в целом, что включает в себя, в том числе, востребованность трехмерных моделей в программных комплексах, внедрение новых стандартов для реализации строительных проектов в совокупности взаимной связи расчетных и графических особенностей проекта, а также с дополнительными данными, которые получают в процессе производства работ и эксплуатационных аспектов построенного объекта. Важно отметить, что полученные данные, как правило, не предоставляют достаточно полезной информации, если рассматривать вопрос с позиции инженера-геотехника. Способы решения данного вопроса с помощью внедрения цифровых технологий в геотехнику разработала компания Bentley Systems, основной деятельностью которой является создание современных информационных продуктов, с помощью ряда приобретений компаний имеющих прямое отношение к исследованию геологических особенностей, в том числе PLAXIS (КЭ программа для геотехнических расчетов), gINT (программа по обработке результатов полевых изысканий) и SoilVision (глобальная база характеристик грунта и программа по обработке лабораторных испытаний) [2]. Тем не менее процессы полноценной интеграции на данный момент находятся в разработке и не могут быть полностью реализованы, о чем сообщают специалисты Bentley Systems. Относительно российских нормативных документов об информационном моделировании СП 333.1325800.2017, можно сделать вывод, что при обосновании инвестиций, рекомендации инженерных изысканий затрагивают лишь создание ИЦММ (инженерная цифровая модель местности), которую подразумевается использовать в качестве комплексного инструмента для оценки и анализа инженерно-геологических особенностей участка строительства, а также при составлении долгосрочных прогнозов для последующего изменения данных условий в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации объектов. Таким

образом, глобальная геотехника фактически сводится к необходимости использования ее в качестве модели геоподосновы ИЦММ, структуру которой образуют цифровые модели рельефа и ситуации, исключая изучение геотехнических и геологических факторов в СП.

Одной из особенностей метода BIM-технологии является проектирование строительного объекта в виде его комплексной визуализации, при этом изменение изначально заданных параметров подразумевает автоматический пересмотр и изменение всех концепции объекта, вплоть до чертежей, календарных особенностей графика, изначальной визуализации и спецификаций. Информационные данные BIM позволяют своевременно обеспечивать доступ ко всем значимым дополнениям и изменениям в рамках создаваемого строительного объекта, которые впоследствии имеют широкое применение у конструкторов, архитекторов и инженеров. Тем не менее геотехнические особенности строительства, не столь хорошо укладываются в текущие схемы [3]. Данные о геологическом объекте, а также примыкающих к строению коммуникациях могут быть недостаточно комплексными, представляя собой в большинстве случаев набор дискретной информации. Исходные данные по коммуникациям в месте откопки шурфов в условиях новых выработок, могут претерпеть существенные изменения в результате исследовательских и производственных работ.

Относительно информации о геологическом строении, можно сделать вывод о том, что она должна уточняться после производства работ при бурении каждой отдельной скважины в строительной области объекта, но также важно отметить связь с изысканиями вне пятна здания. Строительство трехмерной модели геологического характера при этом не имеет необходимой регламентации со стороны документальной базы. Как правило, во время проведения изысканий соответствующими организациями, имеет место значительное различие, как в основных данных физико-механических свойств грунтов, так и в наборе ИГЭ. В результате даже лидеры отрасли по обработке полевых инженерно-геологических изысканий, используют полуавтоматические режимы работы при инженерно-геологических разрезах, в том числе с ручным назначением слоев.

Геотехники не могут определить идеальную BIM-модель для расчетов, что подчеркивает значимость и необходимость дальнейших доработок технологии. При всем разнообразии расчетных подходов, теории, используемые в прошлом, не могут полностью удовлетворить современную динамику сферы. В итоге приходят разнообразные новые решения, в том числе нелинейные модели механического поведения грунта – CamClay, MC, HS, HSS и т. д. [4]. Особенностью данных моделей является, как правило, отсутствие документации, а также нормативной базы. Методы испытания грунта разнообразны, а результатом их применения становится получение различных величин искомых параметров.

С практической точки зрения, для выявления и последующего использования результатов расчета, на первый план выходит необходимость

экспертной оценки полученных результатов испытаний. Однозначный ответ, как использовать данную информацию в рамках BIM-модели на данный момент отсутствует.

Для повышения эффективности технологий информационного моделирования, геотехники должны принимать активное участие в создании основ для BIM-проектирования. Поскольку разработка современных подходов к геотехническим работам не нашли глобального применения, необходимо направить усилия специалистов на исправление данной ситуации.

Текущие условия позволяют не только создавать, но и планомерно развивать информационные модели, как в процессе проектирования, так и при возведении объектов, а также во время их дальнейшей эксплуатации. Среди актуальных вопросов в данной сфере выделяют необходимость разработки приемлемых форм стандартизации форматов по геологическому строению площадки, структурированным данным по контролю качества в период устройства геотехнических конструкций и мониторингу [5-10].

На стадии устройства фундаментов BIM-модель может строиться только во взаимодействии с сопутствующими моделями ИЦМММ и геологическим строением, важно организовать правила такого взаимодействия.

Список использованной литературы

1. Liam R. Tawelian, Slobodan B. Mickovski. The Implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process. Proceedings Engineering The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Advances in Transportation Geotechnics 3, 2016. – Vol. 143, – Pp. 734-741.

2. Разводовский Д. Е. Применение BIM в геотехнике / Разводовский Д. Е., Шулятьев С. О., Ставницер Л. Р. // Жилищное строительство, 2018. – № 11. – С. 3-8.

3. Федоров С. С. Принципы создания моделей и технологий качественного проектирования объектов строительства / Федоров С. С. // Строительство и реконструкция, 2018. – № 6(80). – С. 94-101.

4. Калустян Я. В. Использование инструментов информационного моделирования при проектировании строительства объектов коммерческой недвижимости / Калустян Я. В., Малова Н. Ю., Михалева Е. В. // Экономика строительства и городского хозяйства, – 2021. – Т. 17. – № 4. – С. 191-201.

5. Зайцева И.В. Решение задачи оптимального управления математической моделью сложной экономической системы // Вестник Ставропольского государственного университета, 2010. № 5. - С. 16-21.

6. Зайцева И.В., Курочкина А.И., Таранушенко Ю.В. Развитие моделирования с ориентацией на новые информационные технологии. В сборнике: Модели управления производством и совершенствование информационных технологий, 2010. - С. 146-147.

7. Зайцева И.В., Астахова Н.И. Оптимизация управленческой деятельности организации с использованием современных информационных систем. В сборнике: Информационные системы и технологии как фактор

развития экономики региона. II Международная научно-практическая конференция, 2013. - С. 25-26.

8. Зайцева И.В. Методы исследования состояний информационной системы // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2011. № 2 (17). - С. 7.

9. Malafeyev O., Rylov D., Novozhilova L., Zaitseva I., Popova M., Zelenkovskii P. Game-theoretic model of dispersed material drying process. AIP Conference Proceedings. "International Conference on Functional Materials, Characterization, Solid State Physics, Power, Thermal and Combustion Energy, FCSPTC 2017" 2017. - P. 020063.

10. Malafeyev O.A., Rylov D., Zaitseva I., Ermakova A., Shlaev D. Multistage voting model with alternative elimination. AIP Conference Proceedings. Сер. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" 2018. P. 100012.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И КЛАССИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩИХ МЕСТ В СРЕДЕ ГИС

*Солиман Хасан, Украинцева Дарья Андреевна,
Бурлов Вячеслав Георгиевич*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Методы выбора местоположения в ГИС являются одним из важных методов, которые помогают лицам, принимающим решения, получать информацию, и набор различных данных, хранящихся в слоях, часто объединяется для создания новых слоев, что известно как наложение (overlay). Текущее исследование сосредоточено на процессе наложения географических слоев двумя способами: первый — классический метод, а второй — нечеткой метод, чтобы найти наиболее подходящие места для ферм солнечной энергии, а затем сравнение двух используемых методов.

Ключевые слова: Геоинформационная система (ГИС), Нечеткая логика, Классическая логика.

COMPARISON OF FUZZY LOGIC ANALYSIS METHOD AND CLASSICAL LOGIC IN DETERMINING THE MOST SUITABLE PLACES IN A GIS ENVIRONMENT

*Soliman Hasan, Ukraintseva Daria Andreevna,
Burlov Vyacheslav Georgievich*

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. Location selection methods in GIS are one of the important methods that help decision makers to obtain information, and a set of different data stored in layers is often combined to create new layers, which is known as an overlay. The current research focuses on the process of overlaying geographic layers in two ways, the first is the classical method and the second is the fuzzy method to find the most suitable locations for solar farms and then comparing the two methods used.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Fuzzy Logic, classical logic.

ВВЕДЕНИЕ

В геоинформационных системах мы пытаемся представить географические явления в виде группы слоев и классифицируем их по определенным категориям, чтобы понять эти явления и изучить отношения

между их различными элементами, где каждый слой геоинформационных систем состоит группы элементов или географических объектов схожего характера и для каждого элемента, и элементы этого слоя имеют в нем специальные спецификации и хранятся в виде метаданных. При классификации слоя слой делится на группу категорий по метаданным и по к величине, разделяющей категории, при использовании классического метода границы между слоями точны и отчетливы, но в действительности явления изменяются постепенно и эти методы классификации не точно выражают действительность, отсюда важность использования нечеткой логики, что создает нечеткие границы между разными категориями и позволяет осуществлять постепенный переход между этими категориями. В текущей работе будет проведена работа по поиску наиболее подходящих мест для создания ферм солнечной энергии в провинции Тартус с использованием нечеткого метода и классического метода, чтобы найти различия между двумя методами, и чтобы сравнить результаты, которые будут получены в обоих методах.

Методы и принципы исследования

В рамках работ были выбраны подходящие места для солнечных энергетических ферм на исследуемой территории, с целью достижения максимальной эффективности при использовании солнечных энергетических ферм и снижения негативных последствий, которые могут возникнуть от электростанции. Выбор критериев, которые будут использоваться для поиска подходящих мест для ферм солнечной энергии, варьируется от страны к стране из-за нескольких факторов, таких как экологические законы и политика, принятые правительствами, а также потребность страны в энергии.

В нашем исследовании критерии были установлены таким образом, чтобы достичь максимальной эффективности при использовании солнечных электростанций, и на основе местных и международных исследований были определены десять критериев, которые были разделены на три группы:

1- Технические критерии: Включают все технические факторы, которые увеличивают стоимость создания ферм солнечной энергии и снижают оптимальные инвестиции в солнечную энергию, где коэффициент уклона более 15% вызывает увеличение стоимости в результате операций, связанных с выемкой грунта и обратной засыпкой, поэтому в нашем исследовании будут исключены участки, которые имеют уклон более 15%, в дополнение к землям, выходящим на северо-запад [1].

2- Экономические критерии: При выборе места для строительства солнечной электростанции важным фактором также является удаленность выбранной территории от линий электропередачи и основных дорог [2]. Большие расстояния создают потребность в новых линиях электропередач и дорогах, что приводит к дополнительным затратам на проект.

3- Экологические критерии: Это критерии, связанные с окружающей средой (климат - землепользование - риски).

- **Климат**

- Солнечная радиация или Солнечный ресурс: его можно рассматривать как один из основных критериев, напрямую влияющих на эффективность. Уровень солнечной радиации, который является одним из факторов, влияющих на определение потенциала солнечной радиации, прямо пропорционален вырабатываемой энергии [3]. Общее годовое значение солнечной радиации на территории, на которой планируется разместить солнечную электростанцию, должно быть не менее 1600 кВтч / м² в год [4]. В рамках данного исследования этот слой был сформирован данными глобального наклонного излучения (GTI). Где GTI используется для оценки солнечного ресурса для фотоэлектрических технологий, и значения представляют собой долгосрочное среднегодовое значение дневных итогов [5]. (Параметры данных GHI и DNI используются для расчета глобального наклонного излучения (GTI), то есть солнечного излучения, принимаемого поверхностью фотоэлектрических модулей [6]).

- **Землепользование:** Включает в себя два слоя, слой растительного покрова (Land cover) и слой запрещенных зон. Что касается запрещенных территорий (заповедники, военные и археологические зоны), слой расстояний будет сформирован таким образом, чтобы важность расположения солнечных электростанций возрастает с увеличением расстояния от этих территорий. Слой растительного покрова (Land cover) был разделен на две категории: слой, содержащий городские районы и водоемы, которые не подходят для использования в качестве полей солнечной энергии, и вторую категорию, которая содержит слой сельскохозяйственных районов. В сельскохозяйственных районах строительство фотоэлектрических электростанций по-прежнему возможно без значительного влияния на урожайность сельскохозяйственных культур [7]. Он также может обеспечивать электричеством для орошения сельскохозяйственных культур, а также для обработки и охлаждения сельскохозяйственных продуктов. Сельскохозяйственные системы могут успешно сочетать сельскохозяйственное производство с генерированием фотоэлектрической электроэнергии и даже увеличивать сельскохозяйственное производство в некоторых климатических регионах. Кроме того, применение фотоэлектрических установок можно рассматривать как долгосрочное, но временное использование земли. В сельскохозяйственных районах, которые не обрабатываются активно из-за экономических или социальных условий, фотоэлектрическая система может быть желанной альтернативой, которую можно легко удалить через некоторое время, в отличие от строительных работ. Земли, классифицируемые как «сельскохозяйственные», часто содержат сильно деградированные или загрязненные участки или неиспользованные другими способами. Фотоэлектрические электростанции можно рассматривать как дополнительное использование земель, требующее долгосрочного восстановления, как пустоши или пастбища.

- **Риски:** существует два типа рисков, которые влияют на поля солнечной энергии (скорость ветра - наводнения).

- Риски скорости ветра: Высокая скорость ветра вызывает разрушение солнечных электростанций из-за того, что они состоят из широких панелей и отражателей. По этой причине районы, где скорость ветра превышает (25-30) метров в секунду, будут исключены.

- Риск наводнения: Размещение солнечных ферм в водотоках вредит им, поэтому в исследовании мы выведем водотоки из цифровой модели рельефа, а близлежащие места к ним будут исключены.

После получения необходимых данных и сохранения их в базе данных будут использоваться нечеткая логика и классическая логика для преобразования данных внутри слоев в новые данные. На основе нечеткой логики новые данные будут подготовлены при использовании функций принадлежности, определяющих степень принадлежности каждого элемента со значением в диапазоне от 0 до 1. На рис.1 представлена типичная трапециевидная функция, которая будет использоваться в настоящей статье.

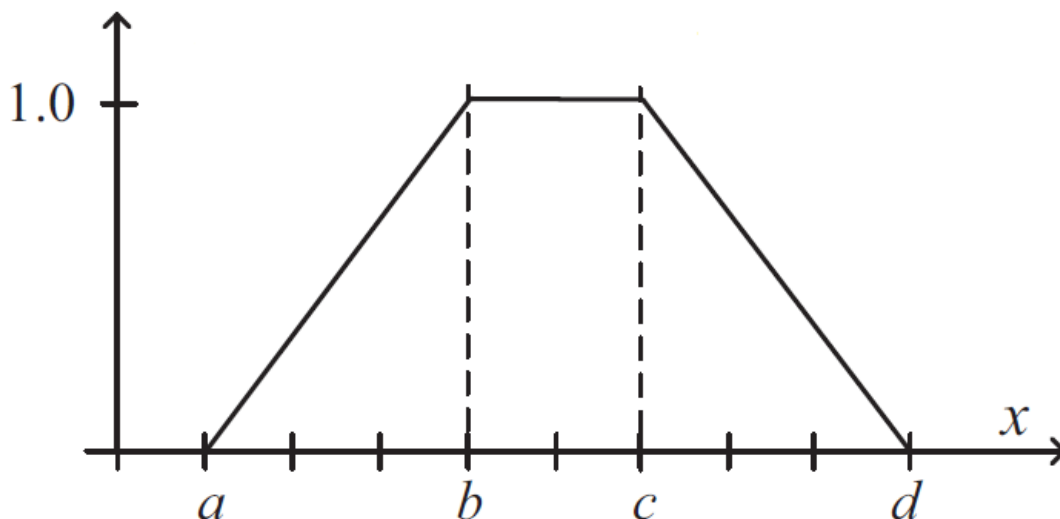


Рисунок 1 - Трапециевидная функция принадлежности

Уравнение (1) является простой и понятной реализацией, использующей только прямые вычисления, которые могут быть реализованы на любом языке программирования или в программах ГИС.

$$\mu(x, a, b, c, d) = \text{MAX} \left[\text{MIN} \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right] \quad (1)$$

Результаты исследования

Целью исследования является поиск идеальных мест для солнечных электростанций в соответствии с набором критериев с использованием нечеткой и классической логики. В качестве области исследования была выбрана провинция Тартус в Сирии, и, как и во всех других методах выбора сайтов, нечеткая логика и классическая логика используют методологию рабочего процесса. Методология выбора оптимального участка в данном исследовании в рамках геоинформационной системы выглядит следующим образом:

а) Собранные слои данных, соответствующие критериям, и введенные в геоинформационные системы. В рамках программы (ARCGIS 10.6) была построена база данных и введены все слои, необходимые для проведения работы (Таблица 1 показывает собранные критерии).

Таблица 1 - Сбор данных и их источники

Критерий	Данные	Описание			Источник
K1	Уклон	Получено	из	высотной	Earth explorer [8]
K2	Солнечное излучение	Годовое значение радиации		солнечной	Global Solar Atlas [9]
K3	Электрической сети	Линии электропередачи.			Каталог World Bank Data [10]
K4	Ориентация	Получено	из	высотной	Earth explorer [8]
K5	Основные дороги	Различные государственные автомагистрали, железные дороги.			Данные OpenStreetMap [11]
K6	Землепользование	Сельскохозяйственные и земли, покрытые лесом.			Esri Land Cover [12]
K7	Скорости ветра	Субъект содержит скорость ветра на высоте 10 м над уровнем поверхности.			Global Wind Atlas [13]
K8	Важные области	Он охватывает национальные и международные аэропорты и военные зоны.			Данные OpenStreetMap [11]
K9	Водотоки	Охватывает реки, каналы и озера.			HydroSHEDS [14]

б) Определение функций принадлежности:

Этот этап выполняется для того, чтобы облегчить чтение данных, хранящихся в матричной форме, путем замены исходных значений нечеткими значениями. После применения нечеткой логики получаем слои содержат элементы со значениями от нуля до единицы. Чтобы выполнить первое условие, которое представляет солнечное излучение, солнечное излучение меньше 1600 кВт ч / м² в год будет исключена и получит нулевое значение, а солнечное излучение больше 2000 кВт ч / м² в год будет присвоено значение 1, а значения между 1600 кВт ч / м² и 2000 кВт ч / м² будет рассчитываться как значение степени принадлежности. Для остальных критериев применялся тот же процесс, что показано в таблице 2, а на рисунке 2 показаны слои критериев после применения нечетких операций.

Для классической логики слои будут создаваться без преобразования в нечеткую логику, а затем будет выполняться взвешенное наложение [15], как показано на рисунке 3.

Таблица 2 - Функции нечеткой принадлежности используемых критериев

Критерий	Нечеткая функция	Нечеткая функция для критерии
К1 %	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < 15 \\ \frac{30-x}{15}, & 15 \leq x < 30 \\ 0, & x \geq 30 \end{cases}$
К2 кВт ч / м2	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < 1600 \\ \frac{x-1600}{400}, & 1600 \leq x < 2000 \\ 1, & x \geq 2000 \end{cases}$
К3 (КМ)	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < 1 \\ \frac{20-x}{10}, & 10 \leq x < 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$
К4 (Градус)	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 270 < x < 360 \\ \frac{90-x}{90}, & 0 \leq x < 90 \\ \frac{270-x}{90}, & 180 \leq x < 270 \\ 1, & 180 \geq x \geq 90 \end{cases}$
К5 (КМ)	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < 5 \\ \frac{10-x}{5}, & 5 \leq x < 10 \\ 0, & x \geq 10 \end{cases}$
К6 (КМ)	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.5 \\ \frac{x-0.5}{2.5}, & 0.5 \leq x < 3 \\ 1, & x \geq 3 \end{cases}$
К7 (КМ)	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < 20 \\ \frac{30-x}{10}, & 20 \leq x < 30 \\ 0, & x \geq 30 \end{cases}$
К8 (КМ)	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < 5 \\ \frac{10-x}{5}, & 5 \leq x < 10 \\ 1, & x \geq 10 \end{cases}$
К9 (km)	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.5 \\ \frac{x-0.5}{2.5}, & 0.5 \leq x < 3 \\ 1, & x \geq 3 \end{cases}$

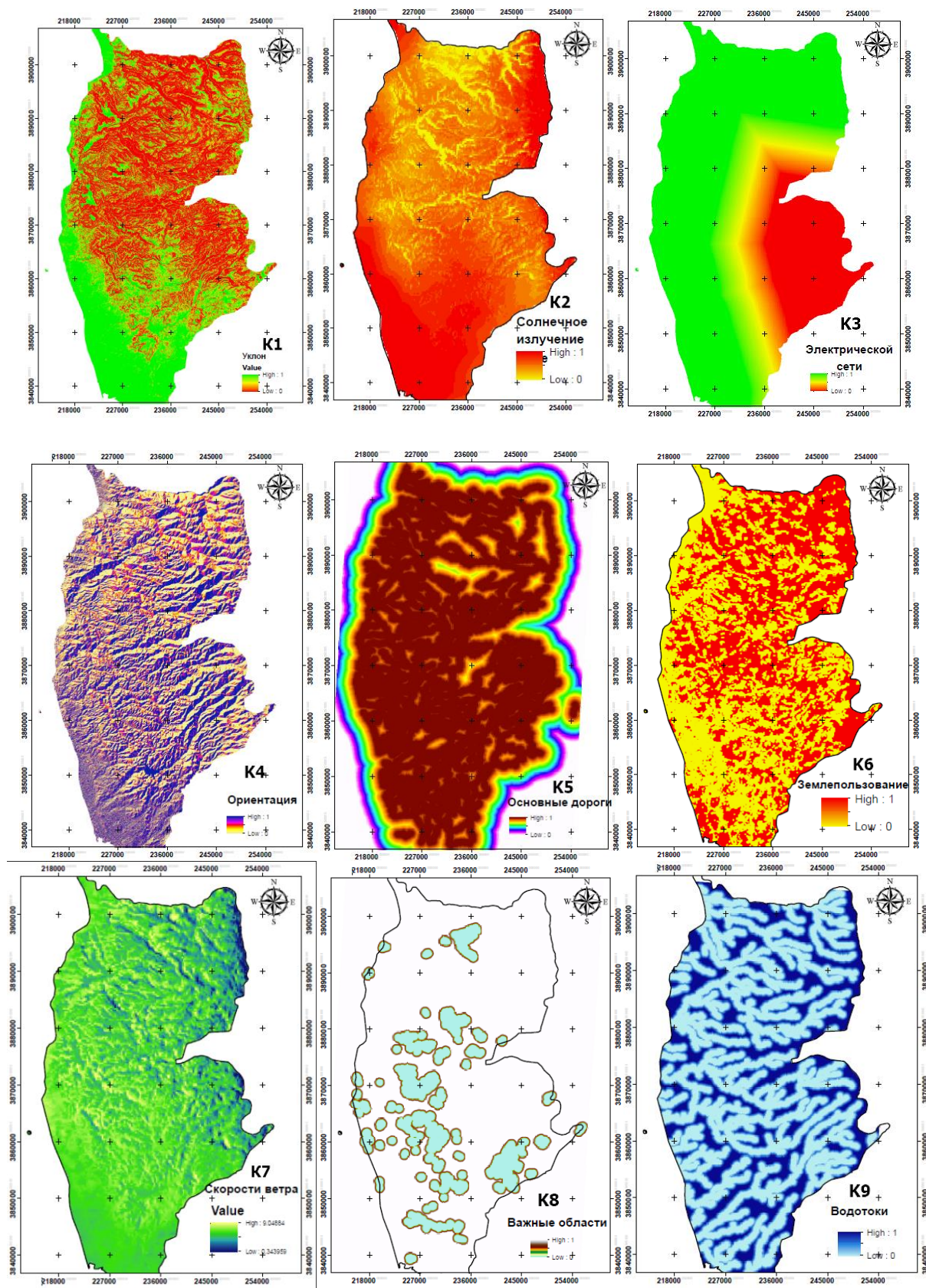


Рисунок 2 - Слои, полученные в результате применения нечетких функций принадлежности

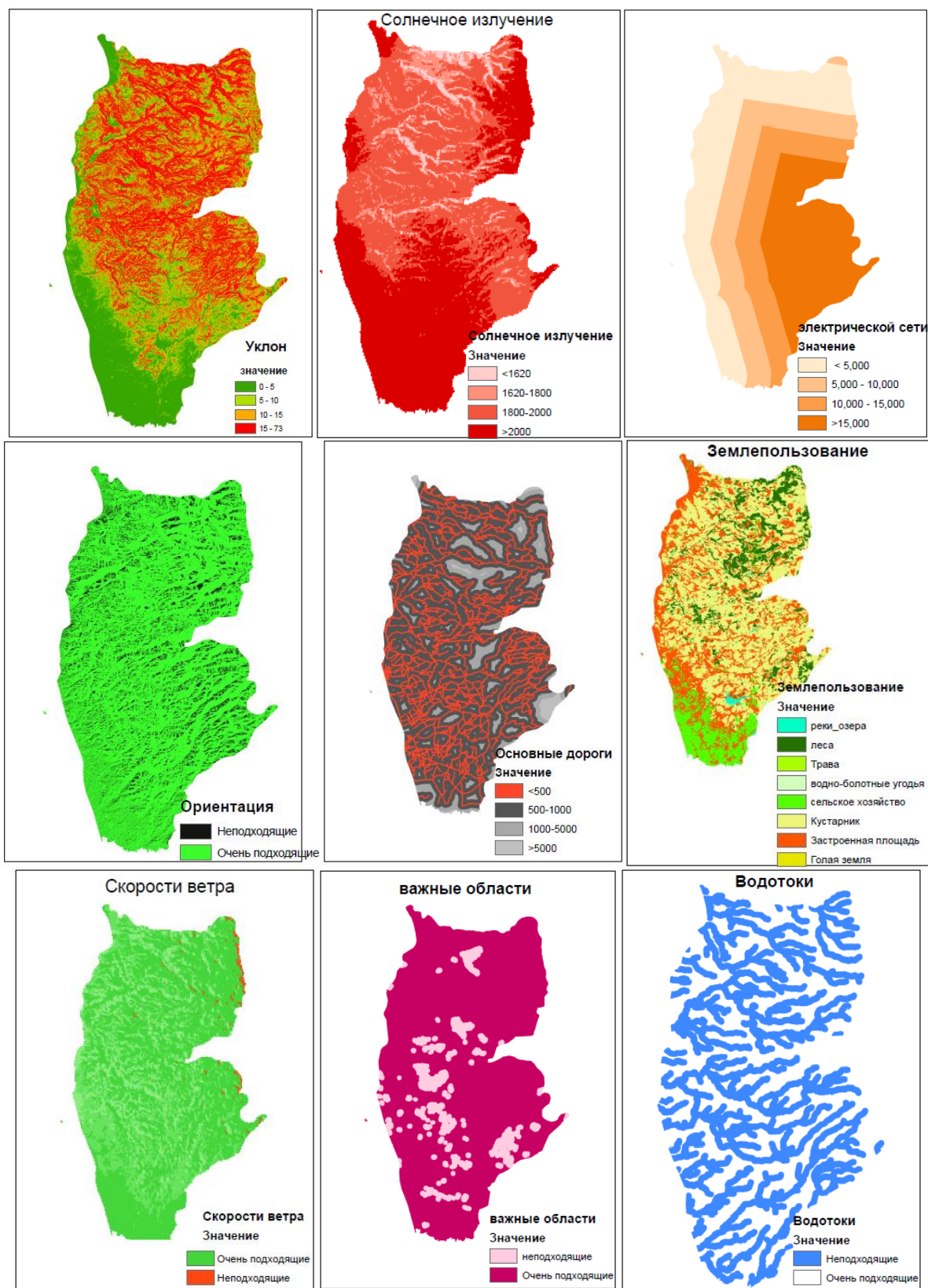


Рисунок 3 - Слои, полученные в результате применения классических функций принадлежности

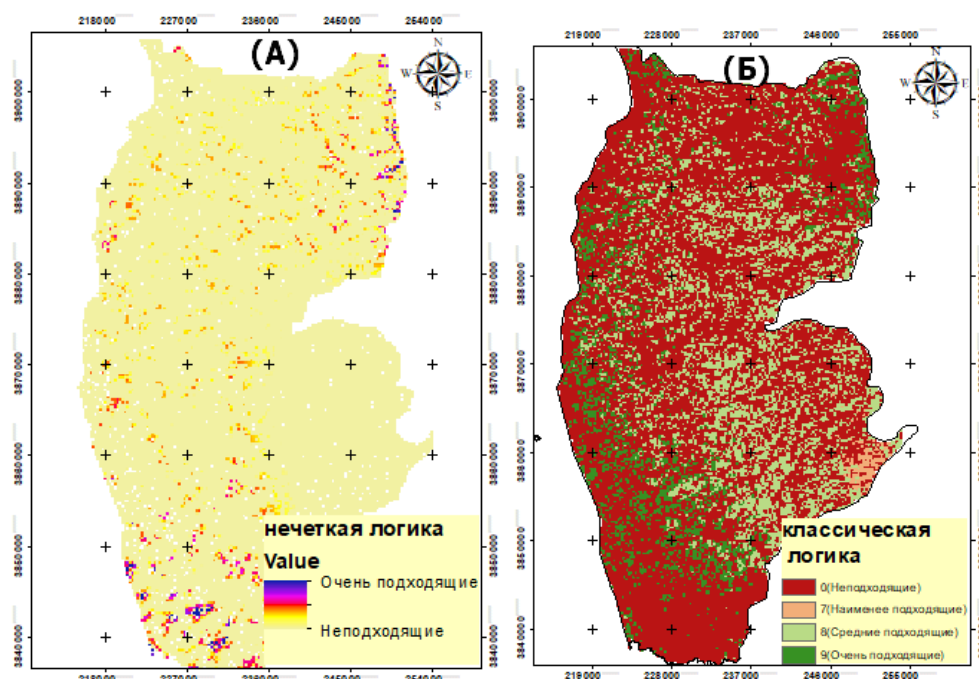


Рисунок 4 - Карты, созданные в процессе наложения с использованием нечеткой логики (А) и классической логики (Б)

Для очень подходящих областей земли (см.рисунок 4) вычисляются теоретические электрические потенциалы. Где теоретический энергетический потенциал зависит в основном от доступных фотоэлектрических технологий, доступных земельных площадей и требований завода в целом. Теоретический солнечный потенциал очень подходящих земельных участков может быть рассчитан на основе средней солнечной радиации на единицу площади в год, очень подходящей земельной площади и эффективности солнечных элементов (Таблица 6). Уравнение (3) можно использовать для расчета теоретического потенциала электрической энергии [16,17,18,19,20].

$$TSPP = SR \times CA \times AF \times \eta \quad (3)$$

Где TSPP - теоретический потенциал энергии, SR - средняя интенсивность солнечного излучения (кВтч / м² / год), CA - общая выбранная высоко подходящая площадь земли (км²), AF - коэффициент площади (%), а η - эффективность система преобразования солнечной энергии (%). Здесь коэффициент площади указывает максимальную площадь земли, покрытую фотоэлектрическими панелями с минимальным эффектом затенения. Фактор площади взят равным 70% из предыдущих исследований [15,21,22]. В исследовании рассматривалась интенсивность солнечного излучения как 1800 (кВт ч / м² / год), что является минимальным значением для категории очень подходящих земель.

После применения нечеткой логики и классической логики и получения результатов на каждом этапе работы была составлена таблица, показывающая различия между двумя методами (см. таблица 3).

Таблица 3 - Сравнение метода нечеткой и классической логики

	Нечеткой логики	Классической логики
Общая площадь, подходящая солнечных электростанций (КМ²)	140 (7%)	157.29 (8%)
Распределение пригодных полей для солнечных электростанций на изучаемой территории	Поля распределены по всей площади изучаемого региона и сосредоточены в южных районах.	Подходящие поля распределены в южных, прибрежных и северо-восточных районах.
Потенциал электрической энергии, ожидаемый от полей солнечной энергии (ГВт ч/ год)	29423.52	33057.32
Уровень сложности использования	Нужно сначала построить математические уравнения, а затем преобразовать данные в нечеткие данные.	Простота в использовании, так как необходимые анализы выполняются без необходимости применения математических операций
Точность	Между элементами происходит постепенный переход, что повышает точность анализа.	Границы между классами представляют собой жесткие границы, и нет плавного перехода между элементами одного класса.
Объем данных	Требует больше места для хранения, чем классическая логика.	Занимает меньше памяти, чем нечеткая логика.

Вывод

Из настоящего исследования можно сделать вывод, что нечеткий метод более точен в многокритериальном анализе, чем традиционный метод, но классический метод прост в использовании и быстро реализуется, поскольку не требует времени для создания нечетких признаков. Текущее исследование рекомендует разработать нечеткую логику и ввести понятие весов при выполнении процесса сложения для классов и критериев, чтобы в конечном итоге получить полную нечеткую систему вывода.

Список использованной литературы

1. Guaita-Pradas I., Marques-Perez I., Gallego A., Segura B. Analyzing territory for the sustainable development of solar photovoltaic power using GIS databases // Environmental monitoring and assessment, – 191(12),– 2019 – Pp. 1-17.
2. Dawod G., Mandoer M.S. Optimum sites for solar energy harvesting in Egypt based on multi-criteria GIS // In the first Future University international conference on new energy and environmental engineering, – 2016 – Pp. 450 - 456.
3. Tunc A., Tuncay G., Alacakanat Z., Sevimli F.S. GIS based solar power plants site selection using analytic hierarchy process (ahp) in Istanbul, Turkey // International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, – 2019 – Pp. 1353-1360.

4. Uyan M. GIS-Supported mapping of solar power plant sites using AHP method // Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, – 2017, 23(4), – Pp. 343-351.
5. Technical Report Interactive web site, solar potential data and maps [Электронный ресурс] // URL:<https://globalsolaratlas.info/download/world> (дата обращения: 01-10-2021).
6. Global photovoltaic power potential by country [Электронный ресурс] // URL:<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/466331592817725242/global-photovoltaic-power-potential-by-country> (дата обращения: 27-9-2021).
7. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting [Электронный ресурс] // URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024808001918> (дата обращения: 27-10-2021).
8. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center [Electronic resource] // – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed: 10-12-2021).
9. The Global Solar Atlas 3.0, T.U.o. Denmark, Editor. 2019. [Electronic resource] // – URL: <https://globalsolaratlas.info/> (accessed: 16-12-2021).
10. World Bank. Syrian Arab Republic – Electricity Transmission Network. 2017. [Electronic resource] // – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=SY> (accessed: 12-10-2021).
11. OpenStreetMap, OpenStreetMap data licensed under the Open Database 1.0 License, – 2022.
12. Esri Land Cover [Electronic resource] // – URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (accessed: 16-01-2022).
13. The Global Wind Atlas 3.0, T.U.o. Denmark, Editor. 2019. [Electronic resource] // – URL: <https://globalwindatlas.info/> (accessed: 16-12-2021).
14. Lehner B., Verdin K., Jarvis A. New global hydrography derived from spaceborne elevation data // Eos, Transactions, AGU, – 2008, 89(10), – Pp. 93-94.
15. Солиман Х., Бурлов В.Г. Оценка площадок солнечных ферм методами МКА и МАИ на основе геоинформационных систем ГИС // Международный научно-исследовательский журнал, – 2022, № 2 (116), – Pp. 103-112.
16. Dhunny A.Z., Doorga J.S., Allam Z., Lollchund M. R., Boojhawon R. Identification of optimal wind, solar and hybrid wind-solar farming sites using fuzzy logic modelling // Energy, – 2019, 188, – P. 116056.
17. Charabi Y., Gastli A. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation // Renewable Energy, 2011, 36(9), – Pp. 2554-2561.
18. Asakereh A., Soleymani M., Sheikhdavoodi M.J. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran // Solar Energy, – 2017, 155, – Pp. 342-353.
19. Doorga J.S., Rughooputh S. D., Boojhawon R. High resolution spatio-temporal modelling of solar photovoltaic potential for tropical islands: Case of Mauritius // Energy, – 2019, 169, – Pp. 972-987.

20. Saraswat S.K., Digalwar A.K., Yadav S.S., Kumar G. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India // Renewable Energy, – 169, – 2021, – Pp. 865-884.
21. Skoplaki E., Boudouvis A.G., Palyvos J.A. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting // Solar energy materials and solar cells, – 2008, – 92(11), – Pp. 1393-1402.
22. Jangid J., Bera A.K., Joseph M., Singh V., Singh T.P., Pradhan B.K., Das S. Potential zones identification for harvesting wind energy resources in desert region of India–A multi criteria evaluation approach using remote sensing and GIS // Renewable and Sustainable Energy Reviews, – 2016, 65, – Pp. 1-10.

ПРИМЕНЕНИЕ NOSQL ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Тюрина Оксана Дмитриевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье раскрыты понятия NoSQL, ГИС, рассмотрена концепция NoSQL, охарактеризованы типы баз данных NoSQL, изучены и проанализированы их плюсы и минусы. Также в данной статье приведены приложения использования разных типов баз данных NoSQL.

Ключевые слова: NoSQL, база данных, геоинформационные системы, типы баз данных NoSQL.

APPLICATION OF NOSQL IN THE CONSTRUCTION OF GEOINFORMATION SYSTEMS

Tyurina Oksana Dmitrievna

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article reveals the concepts of NoSQL, GIS, considers the concept of NoSQL, describes the types of NoSQL databases, studies and analyzes their pros and cons. This article also provides applications for using different types of NoSQL databases.

Keywords: NoSQL, database, geoinformation systems, types of NoSQL databases.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день для разработки программного обеспечения существует большое количество современных и перспективных технологий и систем, которые способствуют оперативной передачи информации, возможности развертывания и масштабирования. Одним из таких является хранилище NoSQL, в котором данные представлены без четких связей друг с другом и четкой структуры, в отличие от реляционных баз данных.

NoSQL возникло в начале 2000-х годов, и сегодня использование таких хранилищ достигло невероятной популярности. Они являются распространенным выбором для создания больших проектов по хранению данных и аналитики, в том числе при разработке геоинформационных систем (ГИС).

Далее в статье будут представлены плюсы и минусы применения NoSQL при построении геоинформационных систем, а также рассмотрены перспективы развития.

ПРИМЕНЕНИЕ NOSQL ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

При создании базы геоданных и хранения в ней необходимой информации возможно использовать NoSQL. Базы данных такого типа оптимизированы для систем, которые работают с большим объемом данных и нуждаются в высокой производительности.

Концепция нереляционных баз данных предоставляет:

- гибкие схемы, позволяющие ускорить разработку базы данных, а также обеспечить возможность поэтапной её реализации;
- масштабируемость;
- допустимость систематически включать новые атрибуты к записям данных;
- собственный API и типы данных с широкой функциональностью для взаимодействия;
- процедуры шаринга, позволяющие разделить информацию по разным узлам сети, и репликации, обеспечивающие копирование обновленных данных на другие серверы.

Существует несколько типов баз данных NoSQL:

1) Key-Value / Хранилища типа «ключ-значение» хранят данные как совокупность пар «ключ-значение», где каждому значению предоставляется ключ, который является уникальным идентификатором. Такая база данных не требует схем построения данных, поддерживает высокую разделимость и обеспечивает горизонтальное масштабирование. Например, использование такого типа данных может применяться при хранении атрибутивной информации о сельском хозяйстве и дальнейшем его анализе и обработке. Данные будут храниться в виде строки, JSON или большого двоичного объекта.

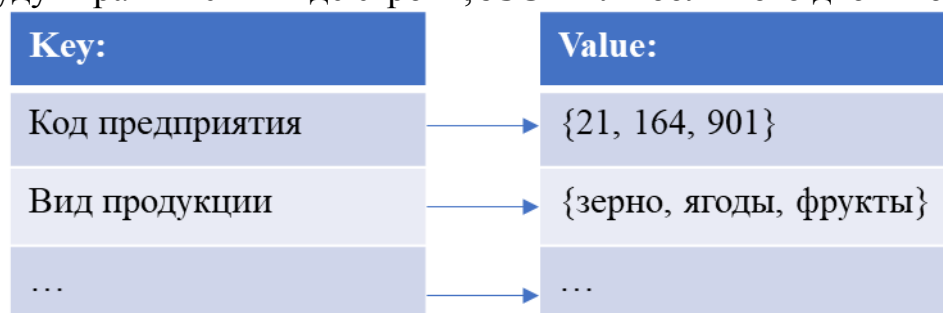


Рисунок 1 - Схема данных на основе «ключ-значение»

Однако такая база данных типа «ключ-значения» имеет и недостатки. Данная модель не предоставляет стандартные возможности баз данных при одновременном выполнении нескольких транзакций, имея доступ только к одной ячейки. Также при увеличении объема данных, необходимо усложнять процесс генерации строк, чтобы ключи оставались уникальными среди большого их количества.

Самыми распространенными приложениями данной категории являются Redis, Riak, Memcached/MemcacheDB.

2) Document Stores / Документно-ориентированные БД представляют собой систему хранения данных в виде иерархических структур и позволяют

создавать более сложные структуры (документ в документе в документе...). Такая структура данных начинается с корневого узла и может иметь несколько внутренних и листовых узлов. Конечные данные будут находиться в листовых узлах, при добавлении новых записей данные будут заноситься в индексы базы, благодаря которым можно будет осуществлять быстрый поиск. Документы также могут быть организованы в коллекции.

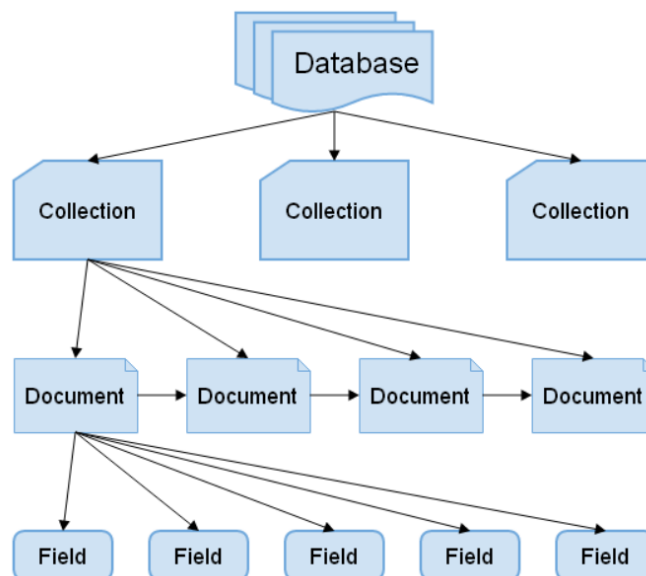


Рисунок 2 - Схема документно-ориентированной базы данных

Документно-ориентированные базы данных NoSQL позволяют создавать документ из произвольной структуры и могут применяться в создании баз геоданных. Базы данных документов будут хранить необходимую информацию для определенного объекта в единственном экземпляре.

Несмотря на высокую производительность документно-ориентированные БД имеют и недостатки. При извлечении необходимого значения, пользователь будет получать большой объем данных, также такому типу хранилища не хватает согласованности на уровне базы данных, что не позволяет предоставлять больше надежных функций.

Наиболее популярными приложениями данной категории являются CjuchDB, MongoDB, Couchbase.

3) Graph Stores / Графовые БД используют древовидную структуру – графы, которые состоят из узлов и ребер для хранения и представления данных. Ребро имеет начальный и конечный узлы, направление, описывает взаимосвязи типа «родитель-потомок». Узел не имеет ограничения на количество и тип взаимосвязи.

С помощью высокодоступной графовой базы данных можно производить сбор и анализ разнородной информации из базы геоданных для выявления необходимой информации.

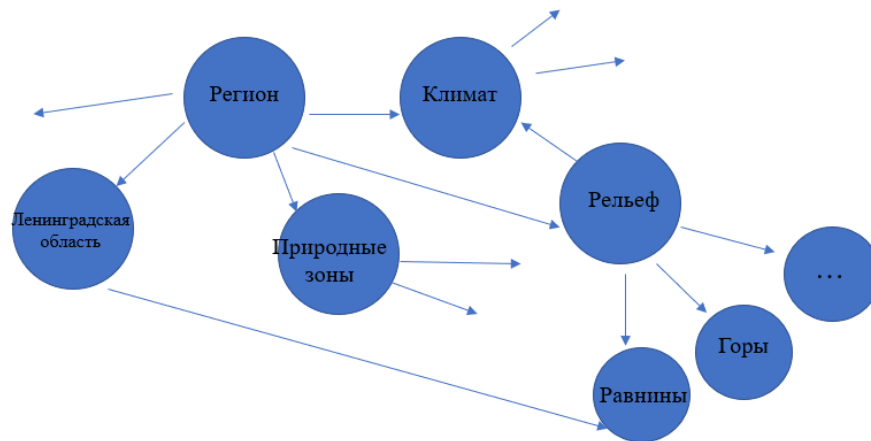


Рисунок 3 - Модель графовой базы геоданных

Плюсы графовых баз данных заключаются в высокой производительности, наглядном представлении и простоте внесения данных. Графовые БД очень продуктивны в обработке сложных и косвенных отношений между данными. Однако такая БД занимает много места на диске по сравнению с реляционными базами данных, и специфика такой модели представления подходит не для каждой предметной области.

Популярные приложения: Neo4j, Giraph.

4) В базе данных Column Family / Масштабируемые распределенные хранилища данные в отличие от большинства реляционных систем хранятся в столбцах, а не строках. Хранилище столбцов состоит из одного или нескольких семейств столбцов, которые логически сгруппированы. Все столбцы одного семейства хранятся на диске в одном файле. Ключ используется для идентификации и указания количества столбцов с атрибутом пространства ключей, который определяет область его действия. При использовании большого набора данных благодаря хранению в едином файле одного семейства столбцов повышается производительность из-за снижения объема данных, которые нужно считать с диска.

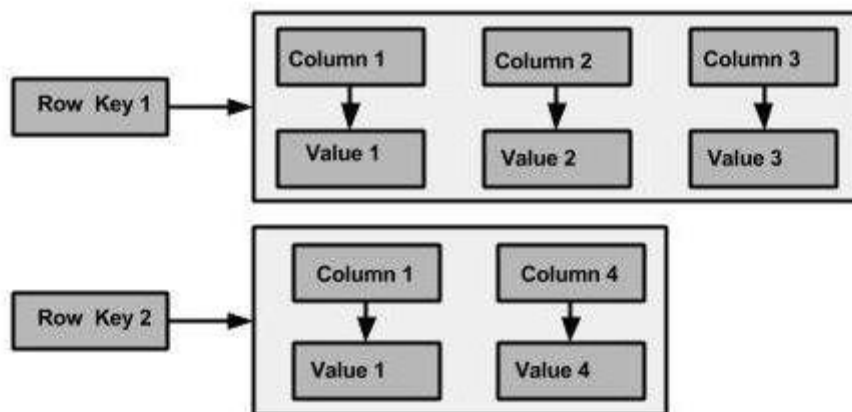


Рисунок 4 - Хранения данных в виде столбцов

Такой тип хранения данных отлично подходит для длительного хранения больших коллекций атрибутов и значений и может использоваться при создании базы геоданных.

Наиболее распространенные приложения: Cassandra, HBase.

ВЫВОД

Создание баз геоданных с помощью NoSQL позволяет производить анализ влияния одной отрасли на другую, формировать и представлять необходимые данные о географических объектах, проектировать зависимость состояния экономики от развития отраслей, а также способствует решению экологических и геофизических вопросов.

NoSQL-движение быстро набирает популярность и может использоваться при разработки различных баз данных благодаря возможности:

- хранить большой объем неструктурированной информации;
- проще осуществлять масштабирование из-за распределения нагрузки на все узлы благодаря тому, что расширение осуществляется в горизонтальном направлении, что не происходит при использовании реляционных баз данных;
- генерировать индексы в форме B-Tree для увеличения скорости поиска.

Отказ от использования традиционных реляционных баз данных в пользу технологий NoSQL позволяет создавать гибкую и простую структуру данных, не требующую схем, а также повышает скорость работы БД. NoSQL применяют при разработки баз данных как инженеры, дизайнеры, программисты, архитекторы программного обеспечения, так и крупные компании, которые используют новые методологии NoSQL и интегрируют их в свои продукты (Oracle, IBM).

Конечно, имея свои недостатки, NoSQL не вытеснит реляционные БД, но благодаря своему простому механизму управления базами данных останется также популярным.

Список использованной литературы

1. Садаладж Пр. Дж. NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных / М. Фаулер. – СПб. : Питер, – 2017. – 192 с.
2. Каратыгин С. А. Базы данных / С. А. Каратыгин, Тихонов В. В. // Учебно-методическое пособие – СПб.: БВХ – Санкт-Петербург, – 2014. – 352 с.
3. Смирнов П. И. Методическое обеспечение формирования облика геоинформационной системы морского судна: информационно-управляющие системы / П. И. Смирнов, Т. М. Татарникова, Н. В. Яготинцева. В. – СПб.: – 2017. – № 6 (91). – С. 52-57.
4. Геоинформатика: механизм обучения нейронной сети для прогноза метеорологической обстановки при использовании ГИС / М. Р. Вагизов, Е. П. Истомин, О. Н. Колбина и др. – Санкт-Петербург, – 2021.–№ 1. – С. 22-29.
5. Гарсиа Эскалона Х. А. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета: перспективы развития инфраструктуры пространственных данных с использованием современных технологий / Эскалона Х. А. Гарсиа, Е. П. Истомин, О. Н. Колбина. – Санкт-Петербург, – 2018. – № 50.– С. 130-136.

6. Естественные и технические науки: математическая модель обработки пространственно-распределенных разнородных геоданных для принятия управленческих решений по прокладке оптимальных маршрутов следования судов в Арктике / Истомин Е. П., Сидоренко А. Ю., Колбина О. Н. и др. – Санкт-Петербург, – 2019. – № 4 (130). – С. 130-133.

7. Татарникова, Т. М. Модель оценки временных характеристик решения задачи в геоинформационной системе корабля: программные продукты и системы / Т. М. Татарникова, П. И. Смирнов, Н. В. Яготинцева. – СПб.: - 2017. – № 4. – С. 711-714.

8. The Object Database Standard: ODMG-93. Ed. by R. G.G. Cattell, Morgan Kaufmann Publ, – 1994. – 169 p.

9. Олле Т. В. Предложения КОДАСИЛ по управлению базами данных.- М.: «Финансы и статистика», – 1981.– 286 с.

10. Михаэл Стоунбрейкер. Объектно-реляционные системы баз данных //- «Открытые системы», N 04.– 1994.– С. 43-49.

11. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. -8-е изд.: Пер. с англ. - М.: «Вильямс», – 2005. – 1328 с.

12. программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<https://m.habr.com/ru/post/77909> - Обзор NoSQL систем

<https://aws.amazon.com/ru/nosql/> - Что такое NoSQL?

<https://m.habr.com/ru/post/15247> - NoSQL базы данных: понимаем суть

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕРАТАК С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Украинцева Дарья Андреевна, Грызунов Виталий Владимирович
ФГБОУ «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Сегодня индустрия информационной безопасности постоянно находится в режиме повышенной готовности. Ресурсы российских компаний подвергаются сетевым атакам со стороны киберпреступников из недружественных стран. Для решения данной проблемы необходимо постоянно усовершенствовать инструменты кибербезопасности новыми технологиями. В частности, уделять особое внимание методам обнаружения атак, включающих силу методов машинного обучения. Особое внимание в данной статье уделено методам обнаружения атак, построенных на различных типах архитектур, таких как рекуррентная нейронная сеть и сверточная нейронная сеть.

Ключевые слова: машинное обучение, информационная безопасность, сетевая атака, искусственный интеллект, нейросеть, обнаружение атак.

METHODS OF DETECTING CYBER ATTACKS USING MACHINE LEARNING

Ukrainitseva Daria Andreevna, Gryzunov Vitaliy Vladimirovich
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. Today, the information security industry is constantly on high alert. Now the resources of many Russian companies are being subjected to network attacks by cybercriminals from unfriendly countries. To solve this problem, it is necessary to constantly improve cybersecurity tools with new technologies. In particular, pay special attention to methods of detecting attacks involving the power of machine learning methods. Special attention in this article will be paid to methods of detecting attacks built on various types of architectures, such as recurrent neural network and convolutional neural network.

Keywords: machine learning, information security, network attack, artificial intelligence, neural network, attack detection.

Введение.

В современном глобальном виде сетевая безопасность имеет решающее значение. Сетевая безопасность стала критически важным фактором, повышающим эффективность бизнеса и социальную ценность сетевых информационных систем. Для снижения риска и ущерба современная стратегия

обеспечения сетевой безопасности должна учитывать ряд таких факторов, как увеличение надежности сети и защиту постоянно эволюционирующих угроз всех типов [1] и новых методов атак. Таким образом, идентификация сетевых атак и адаптация информационных систем к дестабилизирующим воздействиям [2], становится основной проблемой в области сетевой безопасности.

Машинное обучение в отличие от точных методов [3], позволяет обнаружить скрытые закономерности при проведении и обнаружении сетевых атак, моделируя человеческий мозг [4]. Алгоритмы машинного обучения аналогично людям реализуют обнаружение угрозы, её распознавания и нейтрализации [5].

Разработка процесса обнаружения атак.

Атаки могут быть распознаны как попытки обойти политики безопасности системы, что дает злоумышленникам более легкий доступ к получению или изменению информации, даже разрушая систему. С развитием технологий серьезные угрозы сетевой безопасности, особенно систем беспроводной связи, были вызваны более частыми сетевыми атаками из-за открытости беспроводных каналов. Поскольку мы сейчас живем в эпоху машинного обучения и больших данных, кибербезопасность в системах беспроводной связи важна для пользователей для защиты сети, компьютера и данных от атак. Существуют различные виды атак для киберсистем, такие как флуд, отказ в обслуживании, пакетная фрагментация и спуфинг.

Методы обнаружения атак на основе сверток нейронных сетей строятся на трёх типах нейросетей:

- 1) свёрточные нейросети;
- 2) рекуррентные нейросети;
- 3) иерархическая темпоральная память

Сверток нейронных сетей (СНС) включает в себя свёрточные вычисления и структуру, которая является репрезентативной и широко используемым методом в области машинного обучения. СНС использует многослойный вариант восприятия, требующий минимальной предварительной обработки. Базовая структура СНС состоит из входных и выходных слоев и нескольких скрытых слоев, которые включают свертку, объединение и полный уровень соединения [6].

Обнаружение вредоносных веб-оболочек является важным средством защиты сетевой безопасности. Для анализа HTTP-запросов существует эффективный метод создания вложений - Word2vec, представляющий и основанный на СНС подход к обнаружению вредоносных программ. В частности, сначала вводится инструмент «word2vec» для представления каждого слова, полученного из HTTP, по функциям. Затем представляется веб-запрос в виде матрицы фиксированного размера путем объединения функций. Наконец, строится модель классификации оболочки на основе структуры СНС.

Свёрточные нейронные сети используют тот факт, что входные данные — изображения, поэтому они образуют более чувствительную архитектуру к подобному типу данных. В частности, в отличие от обычных нейронных сетей,

слои в свёрточной нейронной сети располагают нейроны в 3 измерениях — ширине, высоте, глубине. На рисунке 1 изображена стандартная 3-х слойная нейронная сеть. На рисунке 2 изображена свёрточная нейронная сеть, которая располагает свои нейроны в 3-х измерениях (ширине, высоте, глубине), как это показано на одном из слоёв. Каждый слой свёрточной нейронной сети преобразует 3D-представление входных данных в 3D-представление выходных данных в виде нейронов активации. В этом примере красный входной слой содержит изображение, поэтому его размеры будут равны размерам изображения, а глубина будет равна 3 (три канала — красный, зеленый, голубой).

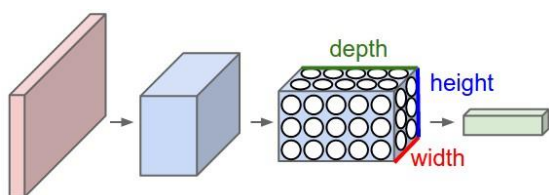


Рисунок 1-Стандартная нейронная сеть

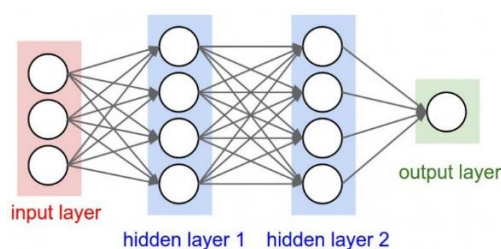


Рисунок 2-Свёрточная нейронная сеть

Методы обнаружения атак на основе рекуррентных нейронных сетей.

Поскольку выход глубокой нейронной сети и свёрточной нейронной сети учитывает только влияние текущего ввода без учета информации из предыдущего и будущего времени, они могли бы достичь высокой производительности по задачам классификации или распознавания без изменяющихся во времени характеристик [6]. С привлечением зависимых от времени данных рекуррентная нейронная сеть предлагается как особая категория нейросетевых структур, которая спроектирована с функцией «памяти» для поддержания предыдущего содержания [7]. На самом деле, такая особенность конструкции совпадает с идеей о том, что человеческое познание основано на прошлом опыте. Таким образом, рекуррентная нейронная сеть хорошо справляется с информацией временных рядов. Однако, существует недостаток рекуррентной нейронной сети, такой как исчезновение градиента, что приводит к неспособности запомнить или смоделировать долгосрочную зависимость.

Рекуррентные нейронные сети связаны с иерархическими темпоральными (временными) воспоминаниями [8]. В их состав входят петли, позволяющие информации сохраняться и делающие их пригодными для решения задач изучения последовательностей. Основные отличия рекуррентных нейронных сетей от алгоритма иерархической темпоральной памяти (АИТП) заключаются в том, что АИТП имеет более сложную модель нейронов и основаны на двоичных единицах и весах.

Несмотря на относительную молодость алгоритма иерархической темпоральной памяти, ранние сравнительные результаты с современными алгоритмами обучения последовательностям показывают, как основанная на нейробиологии теория интеллекта может информировать и направлять развитие

будущих систем искусственного интеллекта, наделенных все более интеллектуальным поведением.

После распознавания сетевой атаки наступает этап адаптации системы дейстабилизирующим воздействиям [9], оценивание эффективности которого является отдельной сложной задачей [10].

Заключение.

Машинное обучение использует каскадные слои в иерархической структуре для выполнения обработки данных, что приводит к значительным результатам в областях неконтролируемого изучения объектов [11]. Основное достоинство данных методов в том, что они могут быть использованы для выявления новых типов или разновидностей атак в пределах описанных классов, что не могут обычные сигнатурные методы.

Подводя итоги, можно отметить некоторые особенности вышеперечисленных методов обнаружения атак. Основная идея резервуарных вычислений заключается в использовании рекуррентной нейронной сети как резервуара с богатой динамикой и мощными вычислительными возможностями. При этом резервуар формируется случайным образом, что исключает необходимость проводить его обучения. Достоинство иерархической темпоральной сети по отношению к рекуррентным сетям, является в том, что модель иерархической темпоральной памяти лучше масштабируется, за счет того, что обратные связи представлены только внутри региона. Благодаря этому довольно легко понять как можно расширять сеть как вширь (добавляя колонок), так и в длину (добавляя слои).

Для реализации на отечественной элементной базе лучше всего подходит метод иерархической темпоральной памяти, так как он менее ресурсоемкий и имеет потенциал развития.

За последние несколько лет исследования о том, как применять методы машинного обучения при обнаружении атак, достигли большого прогресса. Однако, многие проблемы все еще существуют. Во-первых, сложно модифицировать методы машинного обучения в качестве классификаторов в реальном времени для обнаружения атак. В большинстве случаев они только уменьшают размер объекта для снижения затрат на этапе извлечения признаков. Во-вторых, большинство методов машинного обучения подходят для анализа распознавания изображений и образов.

Список использованной литературы

1. Burlov V. G. Threats of information security in the application of GIS in the interests of the digital economy / Burlov V. G., Gryzunov V. V., Tatarnikova T. M. // Journal of Physics: Conference Series : 23, St. Petersburg, 27–29 мая 2020 года. – St. Petersburg, – 2020. – 012023-p – DOI 10.1088/1742-6596/1703/1/012023.

2. Грызунов В. В. Концептуальная модель адаптивного управления геоинформационной системой в условиях дестабилизации / В. В. Грызунов //

Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2021. – № 1(45). – С. 102-108.

3. Грызунов В. В. Структурно-функциональный синтез модели системы предотвращения вторжений / В. В. Грызунов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2006. – № 2. – С. 31-38.

4. От нейрона к мозгу / Пер. с англ. П. М. Балабана, А.В.Галкина, Р. А. Гиниатуллина, Р.Н.Хазипова, Л.С.Хируга. — М.: Едиториал УРСС, – 2003. — 672 с., цв. вкл.— С.14-317.

5. Ukrainitseva D.; Burlov V., Gryzunov V. (2021). Managing the Process of Ensuring Information Security based on the Law of «Preserving the Integrity of the Object». In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Computer and Information Security - INFSEC, ISBN 978-989-758-531-9, Pp. 116-121.— DOI: 10.5220/0010619500003170.

6. Бураков М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие/ Бураков М. В.. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.: ил. Вакуленко С.А., Жихарева А.А. Практический курс по нейронным сетям – СПб: Университет ИТМО, – 2018 – 71 с.

7. Гафаров Ф.М Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие /Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, –2018 – 121 с.

8. Numenta HTM White Paper.— 2021.—URL: <http://numenta.org/htm-white-paper.html> (дата обращения:01.04.2022).

9. Грызунов, В. В. Адаптивное управление анализом состояний информационно-вычислительной системы в ходе информационно-технических воздействий / В. В. Грызунов, Д. А. Украинцева // Global and Regional Research, – 2019. – Т. 1. – № 3. – С. 335-340.

10. Burlov V. G. Evaluation of the effectiveness of geographic information systems adaptation to destabilizing factors / V. G. Burlov, V. V. Gryzunov // Journal of Physics: Conference Series : 23, St. Petersburg, 27–29 мая 2020 года. – St. Petersburg, – 2020. – 012016-p. – DOI 10.1088/1742-6596/1703/1/012016.

11. Воронина В.В. Теория и практика машинного обучения: учебное пособие / Воронина В. В., Михеев А. В., Ярушкина Н. Г., Святков К. В. – Ульяновск: УлГТУ, – 2017. – 290 с.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

УДК 004.85:[331.56: 519.237.8]

АНАЛИЗ УРОВНЯ БЕЗРАБОТИЦЫ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Баранов Олег Андреевич, Мартын Ирма Андреевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлен пример применения машинного обучения с алгоритмом «без учителя» при анализе уровня безработицы субъектов Российской Федерации с пространственным построением кластеров.

Ключевые слова: машинное обучение, анализ данных, кластерный анализ.

ANALYSIS OF THE UNEMPLOYMENT RATE OF THE SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Baranov Oleg Andreevich, Martin Irma Andreevna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The article presents an example of the use of machine learning "without learning" in the analysis of the unemployment rate of the subjects of the Russian Federation with the spatial construction of clusters.

Keywords: machine learning, data analysis, cluster analysis.

Машинное обучение (Machine Learning) представляет собой множество статистических, вычислительных и математических методов для разработки алгоритмов, которые способны решать задачи на основе поиска закономерностей в разнообразных исходных массивах данных. Решение вычисляется по установленной зависимости результатов от конкретного набора признаков и их значений, а не по четкой формуле.

Выделяют два вида машинного обучения:

1) «с учителем» - когда необходимо найти зависимость входных данных от результатов и построить алгоритм. В этот вид входят задачи регрессии, прогнозирования, классификации.

2) «без учителя» - используется при поиске зависимостей между объектами. Сюда входят задачи кластеризации, фильтрации выбросов, сокращения размерности или заполнения пропущенных данных [1].

В статье рассматривается пример кластеризации уровня безработицы субъектов РФ по пространству иерархическим методом Уорда с метрикой Евклида и методом k-средних. В качестве входных данных используется набор данных об уровне безработицы субъектов РФ за 2016-2020г. с сайта <https://rosstat.gov.ru>. Набор данных содержит 81 строку, соответствующую субъекту РФ, имея 5 записей: данные за 2016, 2017, 2018, 2019 и 2020 год (табл.1).

Таблица 1- Исходные данные уровня безработицы субъектов РФ(%)
(источник данных: <https://rosstat.gov.ru>)

	Субъект РФ	2016	2017	2018	2019	2020
1	Ингушетия (Республика)	30,20	27,00	26,60	26,80	30,00
2	Чеченская Республика	15,80	14,00	13,70	13,40	18,50
3	Тыва (Республика)	16,60	18,30	14,80	12,40	18,00
4	Дагестан (Республика)	10,90	12,00	11,60	13,00	15,70
...						
79	Тюменская область	4,60	3,90	3,20	3,00	3,60
80	Санкт-Петербург	1,60	1,70	1,50	1,40	2,90
81	Москва	1,80	1,40	1,20	1,40	2,60

Алгоритмы иерархической кластеризации предполагают, что анализ множества объектов характеризуется определенной степенью связности, выраженной через матрицу мер близости и построение дендрограммы, которая позволяет изобразить взаимные связи между объектами. Для построения матрицы меры близости объектов в работе используется метод Уорда, где в качестве расстояния между кластерами берется прирост суммы квадратов расстояний объектов до центра кластера, получаемого в результате их объединения

$$\Delta = \sum_i (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{x_i \in A} (x_i - \bar{a})^2 - \sum_{x_i \in B} (x_i - \bar{b})^2.$$

Используемая метрика – евклидово расстояние, вычисляемое следующим образом:

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2}.$$

Метод k-средних имеет цель разделения m наблюдений на k кластеров, минимизируя суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центроидов этих кластеров $\min \left[\sum_{i=1}^k \sum_{x(f) \in S_i} \|x^{(j)} - \mu_i\|^2 \right]$, при этом каждое наблюдение относится к тому кластеру, к центру которого оно ближе всего. При расчетах использовалась мера близости евклидово расстояние, число кластеров k задается заранее, исходя из результатов иерархической кластеризации. Для оценки наилучшего варианта разбиения на кластеры используется критерий оптимальности $J_1 = \text{срВКрасст} / \text{срМКрасст}$ и $J_2 = \text{срМКрасст} - \text{срВКрасст}$, где срВКрасст – среднее внутриклассовое расстояние, срМКрасст – среднее межклассовое расстояние [2]. Расчеты производились с применением PAST04 и Python.

В результате проведения кластерного анализа методом Уорда с метрикой Евклида получена дендрограмма (рис.1). Анализ дендрограммы дает предположение о наиболее вероятном разбиении исходного массива данных на 2 или 3 класса. Отмечается, что при делении на 3 класса субъект Ингушетия выделяется в обособленный самостоятельный кластер с наиболее высоким уровнем безработицы.

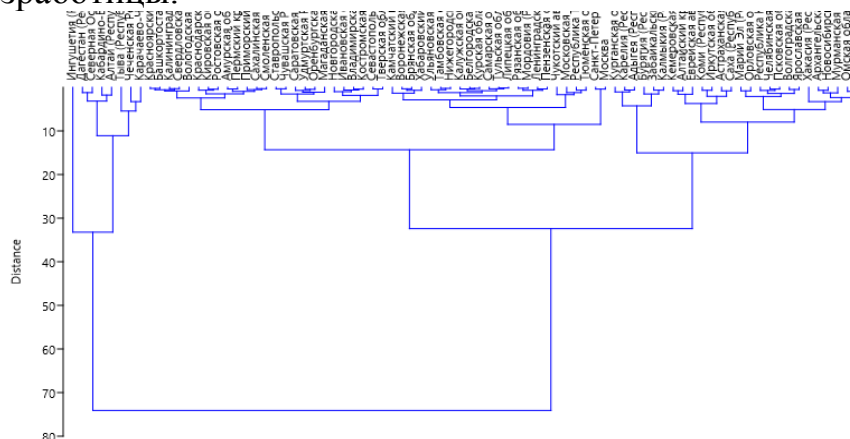


Рисунок 1- Кластерный анализ иерархическим методом Уорда с метрикой Евклида

Предполагая два наиболее вероятных варианта кластеризации, воспользуется методом к-средних для подтверждения состава классов и выбора оптимального разбиения исходных данных на кластеры. В результате расчетов в программе PAST04 получены таблицы составов кластеров при разбиении на 2 и 3 кластера, пример полученной таблицы состава кластеров представлен в табл.2.

Таблица 2 - Состав кластеров при использовании метода k-средних
(количество кластеров -2)

Item	Cluster
Ингушетия (Республика)	2
Чеченская Республика	2
Тыва (Республика)	2
...	

Расчет критерия оптимальности представлен в табл.3 и табл.4, оптимальным является разбиение на кластеры, для которого разница между J_1 и J_2 стремится к минимуму. Наиболее оптимальным является разбиение субъектов РФ по уровню безработицы на 2 кластера.

Таблица 3 - Критерий оптимальности при разбиение на 2 кластера

J1	0,36
J2	2,66
J1-J2	2,30

Таблица 4 – критерий оптимальности при разбиении на 3 кластера

J1	0,19
J2	4,90
J1-J2	4,71

Для проверки состава кластеров и их визуализации проведен кластерный анализ методом k-средних для числа кластеров - 2 (рис.2). Исходя из полученного результата отметим, что большинство регионов попали в класс со средней и низкой безработицей [3].

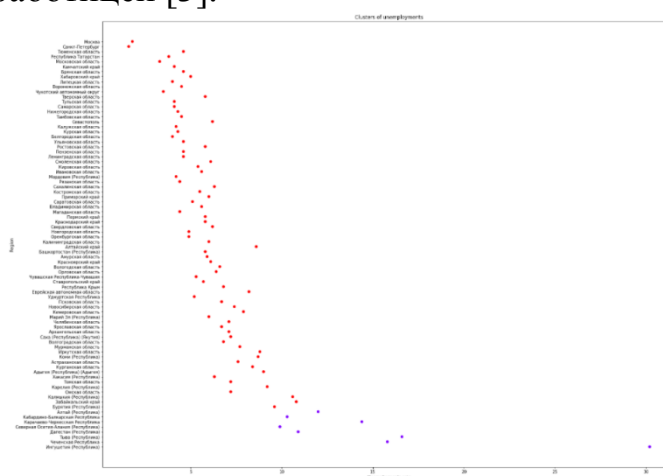


Рисунок 2 - Визуализация распределения состава при разбиении на 2 кластера

Для пространственного анализа субъектов по уровню безработицы с помощью ГИС была построена карта с обозначением центров субъектов к определенному кластеру (рис.3).

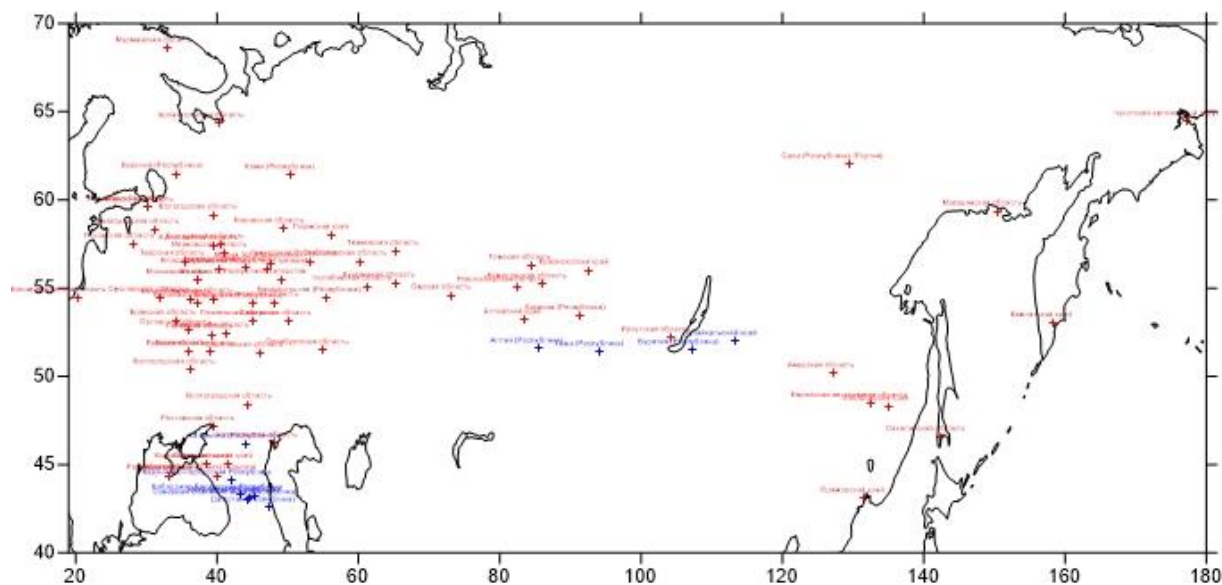


Рисунок 3 - Пространственное распределение классов (синий – высокий уровень безработицы, красный – средний и низкий уровень безработицы)

В результате проведенных исследований подведем заключение. Исходя из результатов кластерного анализа иерархическим методом Уорда с метрикой Евклида и методом k-средних можно распределить регионы на 2 класса. Первый класс, в который попадают регионы со средним и низким уровнем безработицы, и второй класс с высоким уровнем безработицы. В центральной части Европейской России, на Урале и Дальневосточном регионе отсутствуют регионы с высоким уровнем безработицы. Такие показатели свидетельствуют о том, что в этих субъектах достаточное количество рабочих мест, достойный уровень заработной платы, наличие большого количества образовательных учреждений как высшего, так и специального образования, что формирует стабильный рабочий запас, который будет удовлетворять потребности работодателей.

Южные регионы и регионы Сибири разделяются на 2 класса. Высокий уровень безработицы на юге можно объяснить большой плотностью населения, высоким уровнем рождаемости, низкими зарплатами и недостаточным количеством рабочих мест. Такая же ситуация обстоит в некоторых сибирских регионах, только вместо большой плотности населения и высокого уровня рождаемости, противоположно - низкие. В связи с этим, множество людей работают неофициально, подрабатывают в других регионах или занимаются незаконной деятельностью.

Список использованной литературы

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. М. : Финансы и статистика, 1989.
2. Уэс Маккинли Python и анализ данных / Пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 482 с.
3. Грачев М.В., Мартын И.А., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Применение методов математической статистики в решении социально-экономических задач// Информационные технологии в образовании. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 108-111.

**ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ
НА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ
ЛЬДА В СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО
ОКЕАНА**

Башикиров Лев Николаевич, Покровский Олег Михайлович
*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье исследуется влияние колебаний температуры поверхности северной части Атлантического океана на изменения температуры поверхности Северного Ледовитого океана и концентрацию льда в Арктике. Для расчетов влияния применяются эмпирические ортогональные функции и кросс-корреляционный анализ.

Ключевые слова: статистические методы, концентрация льда, эмпирические ортогональные функции, кросс-корреляционный анализ.

**ESTIMATES OF THE EFFECT OF FLUCTUATIONS IN THE
TEMPERATURE OF SURFACE WATERS OF THE NORTH ATLANTIC ON
THE CHANGES IN TEMPERATURE AND ICE CONCENTRATION IN THE
SUBARCTIC ZONE OF THE ARCTIC OCEAN**

Bashkirov Lev Nikolaevich, Pokrovsky Oleg Mikhailovich
*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article investigates the relationship between fluctuations in the surface temperature of the North Atlantic Ocean with changes in the surface temperature of the Arctic Ocean and with the concentration of ice in the Arctic. Empirical orthogonal functions and cross-correlation analysis are used to calculate the influence.

Keywords: statistical methods, ice concentration, empirical orthogonal functions, cross-correlation analysis.

Введение

Исследование климатических процессов, происходящих в Арктике, - очень актуальный вопрос современности как для развития дальнейшего использования северных регионов в народном хозяйстве, так и для изучения глобальных изменений климатических условий на Земле в долгосрочной перспективе.

Климатические изменения, происходящие в районе Северного Ледовитого океана, можно назвать своеобразным индикатором изменения климата всей планеты, ведь деградация ледового покрытия океана наглядно показывает масштаб проблемы потепления климата, и наоборот, увеличение площади льда сигнализирует о глобальном похолодании. Состояние криосферы оказывает непосредственное влияние на формирование воздушных масс и на состояние погодных условий обширных территорий [1]. Недаром Арктику называют «фабрикой погоды».

Но и на климат Севера Земли так же оказывают влияние различные факторы. Результатами такого воздействия и являются текущие изменения.

Последние несколько десятилетий все внимание ученых было сосредоточено на проблеме глобального потепления, основной причиной которого считалось негативное антропогенное воздействие. Однако, климат планеты зависит не только от деятельности человечества. Потепления климата существовали и в доиндустриальную эпоху, когда воздействие человека на природу мало отличалось от воздействий других обитателей планеты. По историческим данным все потепления рано или поздно сменялись очередным похолоданием.

Нетрудно предположить, что на климат влияют и другие факторы - естественные. Из самых значимых естественных факторов можно выделить флуктуации солнечной радиации, изменения температуры поверхности Мирового океана (ТПО), атмосферный аэрозоль, облачность, состояние криосферы, концентрацию парниковых газов. Несомненно, было бы полезно оценить вклад каждого фактора в изменение климата, и такие исследования уже имеются, а результаты их многообещающие.

1. Цикличность и квазицикличность климатических изменений

В статье [2] изучена цикличность изменения температуры поверхности Мирового океана в зависимости от колебаний интенсивности солнечной радиации, а так же связь с этими процессами температуры приземного воздуха (ТПВ), самого определяющего показателя климата. В работах [3, 4] выявлено влияние изменений температуры поверхности океана (ТПО) или SST (Sea Surface Temperature) на климат планеты в целом и, в частности, на глобальную температуру приземного воздуха.

В настоящей работе исследуется влияние изменения температуры поверхности северной части Атлантического океана, так называемой аномалии АМО (Атлантическое многодекадное колебание) на температуру поверхности Северного Ледовитого океана и концентрацию льда.

Общеизвестно, что на климат Арктики солнечная радиация оказывает не такое существенное влияние, как в других широтах [5], а если учитывать отражательную способность (альбедо) снежного и ледяного покрова, становится очевидным, что основные тепловые потоки поступают в регион с помощью океанических течений и воздушных масс. И те и другие существенно зависят от состояния Мирового океана, то есть от температуры его поверхности.

Самая ближайшая к Арктическому региону аномалия ТПО - АМО

(Атлантическое многодекадное колебание), которое описывает когерентный режим изменчивости ТПО в Северной части Атлантического океана, происходящий естественным способом и имеющий периодичность предположительно 60 - 80 лет [6]. Резонно было бы провести исследования периодичности изменения климата района Северного Ледовитого океана и найти лаги относительно известных аномалий Мирового океана. Такие попытки уже есть [7,8].

К сожалению многие климатические данные по Арктическому региону, такие как температура, облачность, ледовый покров и другие, доступны лишь с 1980-х годов, и проследить их изменчивость с периодом более 40 лет практически невозможно. Однако, если оценить связь этих параметров с различными предикторами и выявить ее закономерности, можно прогнозировать дальнейшее поведение климата Арктики в зависимости от естественных факторов.

2. Влияние АМО на ТПО в Субарктике

В этой работе в качестве предиктора были выбраны временные ряды ТПО АМО и изучена их кросс-корреляция с температурой поверхности Северного Ледовитого океана в летний сезон (июнь - август) и сезон зима-начало весны (январь - март), а также концентрацией льда в период январь-март.

Для исследования используются данные Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration), США [9], а именно Оптимальная интерполяция температуры поверхности моря (OISST- Optimum Interpolation Sea Surface Temperature), больше известная как SST Рейнольдса. OISST - это продукты на пространственной сетке 1° с периодом каждую неделю и на сетке $1/4^{\circ}$ каждый день. Такая пространственная сетка в условиях нерегулярности поступления входных данных со спутников и наземных платформ создается статистическими методами. Полученные данные помещаются на регулярную сетку, а затем заполняются пропущенные ячейки с применением оптимальной интерполяции и экстраполяции. В итоге для исследований доступно сглаженное полное поле данных, которое можно использовать для кросс-корреляционного анализа.

На рисунке 1 изображено поле коэффициентов кросс-корреляции между АМО и температурой поверхности океана Арктической области в летний период по данным с 1980 по 2020 годы.

Наблюдается обширная зона в субарктическом регионе с прямой связью между исследуемыми величинами, причем коэффициент корреляции достигает до 0,8 : 0,9 при уровне значимости 90%, что показывает существенную статистическую зависимость ТПО Арктики от аномалии АМО.

Этот факт мотивирует дальнейшее изучение процесса с целью предсказания климатических изменений для рассматриваемых территорий

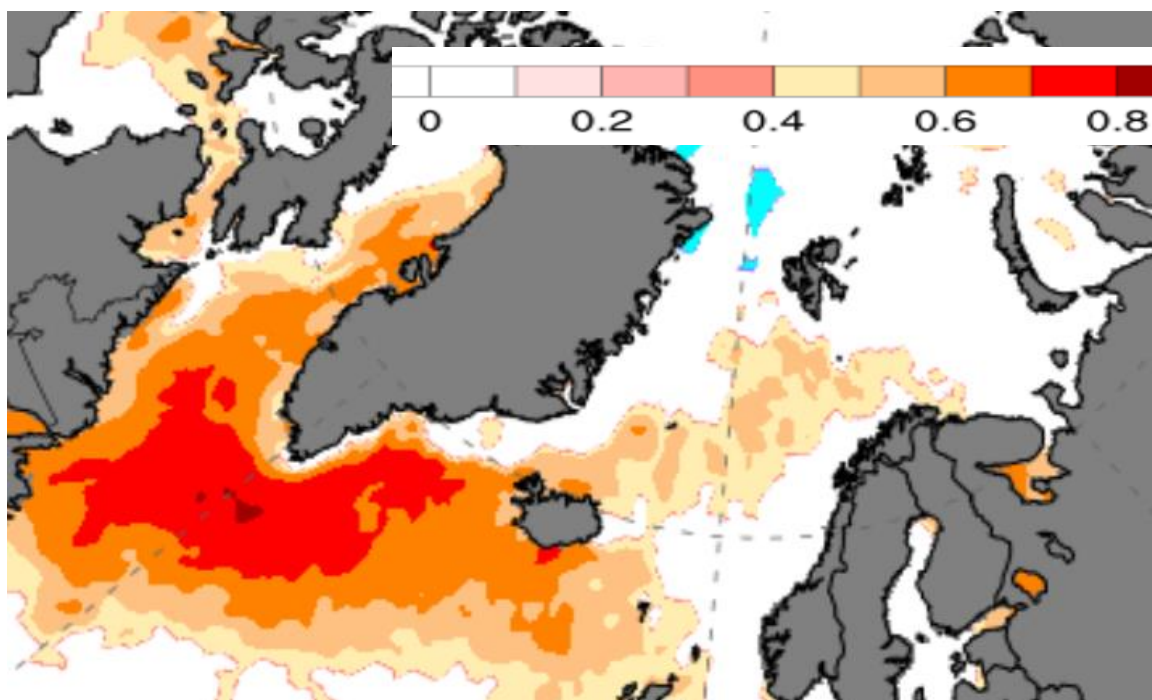


Рисунок 1- Кросскорреляции АМО и ТПО в июне-августе 1980-2020 гг (данные NOAA OISST v.2.1), уровень значимости 0,90

Изображение пространственного распределения коэффициентов кросс-корреляции между индексом АМО и ТПО в период зимы-начала весны (январь-март) представлено на рисунке 2. Здесь также имеется широкая полоса прямого влияния предиктора с коэффициентом корреляции 0,7 : 0,8. Уровень значимости так же составляет 90%.

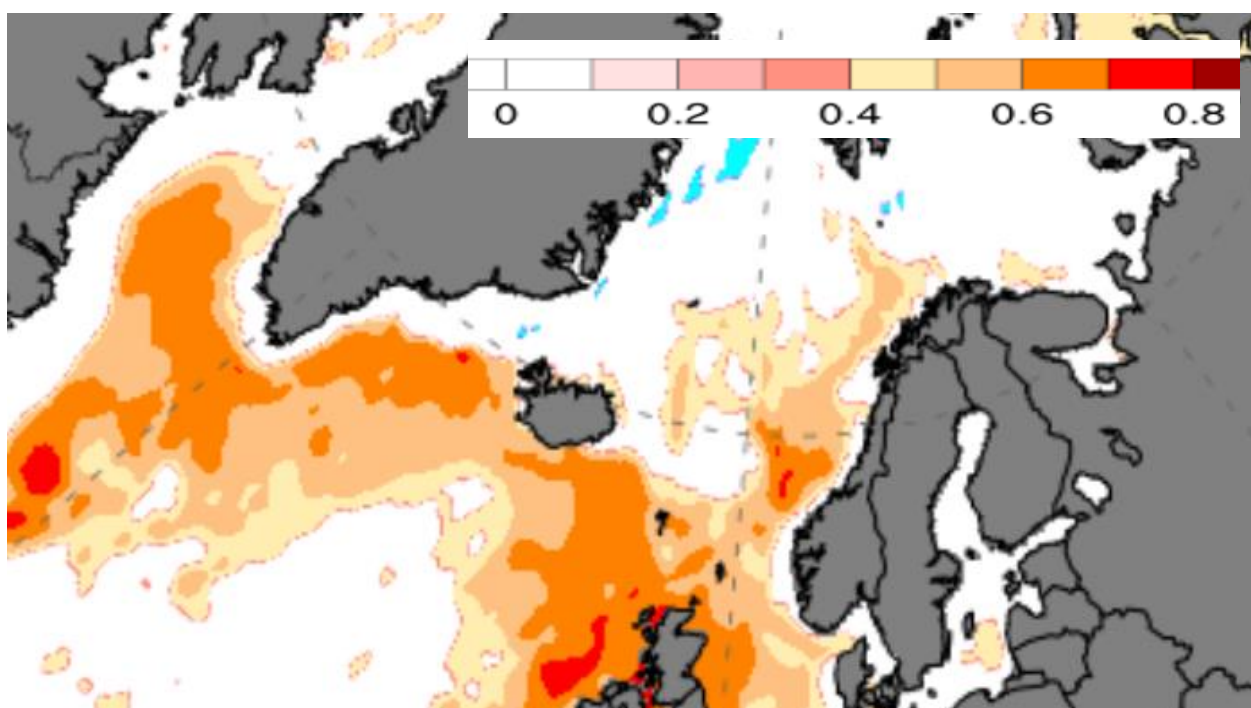


Рисунок 2 - Кросс-корреляции АМО и ТПО в январе-марте 1980-2020 гг (данные NOAA OISST v.2.1), уровень значимости 0,90

Приведенный результат тоже достаточно высок для подтверждения вышеназванных предположений. И так же, как и в первом случае, максимум корреляции ярко выражен в субарктической зоне.

3. Влияние АМО на концентрацию льда в Субарктике

Летом в Субарктике морской лед практически отсутствует. Поэтому основное внимание должно быть уделено влиянию колебаний АМО на изменений концентрации льда зимой.

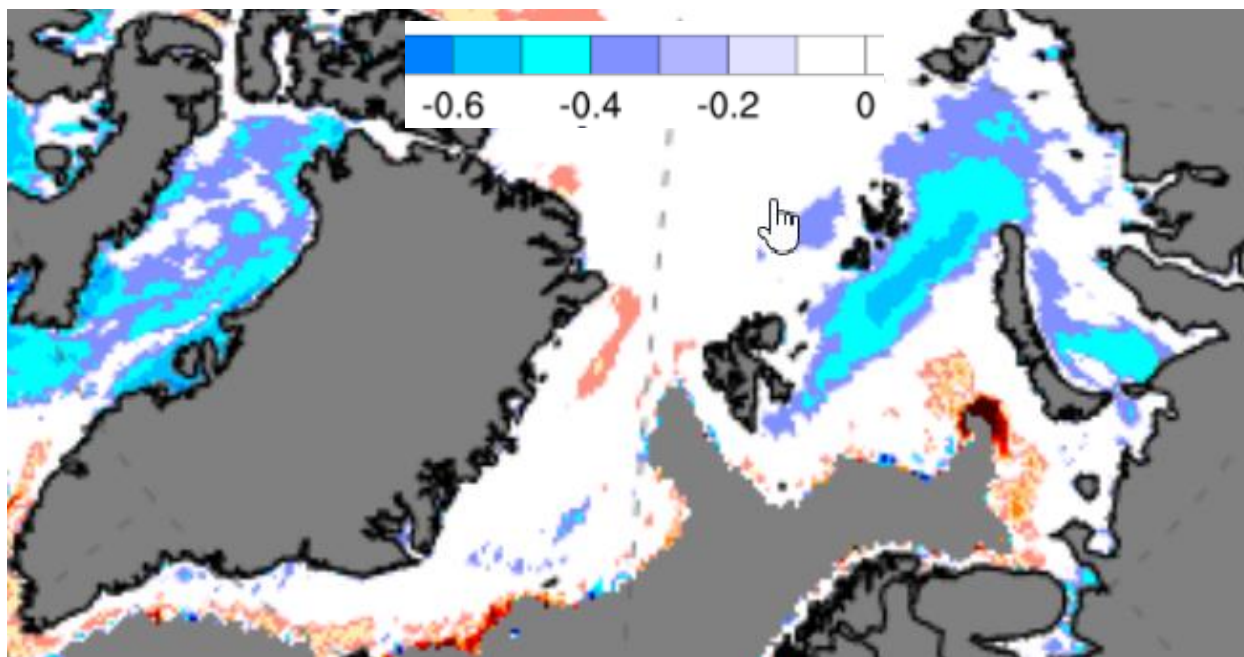


Рисунок 3 - Кросс-корреляции АМО и концентрации льда в январе-марте 1983-2020 гг (данные NOAA OISST v.2.1), уровень значимости 0,90

Проанализировав рисунок 3, на котором отражена кросс-корреляция концентрации льда от аномалии АМО в период январь-март по данным с 1983 по 2020 год, можно сделать вывод об обратной зависимости этих климатических параметров, так как коэффициент корреляции отрицательный. При этом зависимость величин достигает $-0,6 : -0,7$ при уровне значимости 90%, что является достаточно высоким показателем их связи.

При доказанной цикличности проявления аномалии АМО с периодом 60-80 лет и выявленных в статье результатов можно с некоторой уверенностью предположить возможность изменения исследуемых параметров с той же периодичностью.

Заключение

Приведенные в данной работе три примера с полным основанием подтверждают предположение о связи температуры поверхности Северного Ледовитого океана и концентрации льда в Арктике с аномалией Атлантического многодекадного колебания, причем выявленные статистические связи оказались довольно значительными, коэффициент корреляции достигал 0,9. При этом максимальная корреляция наблюдалась в субарктическом регионе.

Кроме этого, вполне обоснованно можно утверждать, что наличие связи арктических климатических параметров с известными аномалиями ТПО, в частности с АМО, может быть использовано в климатологии. Таким образом, оправданно рассматривать продолжение исследований в области применения статистических методов в прогнозировании изменения климата в долгосрочной перспективе.

Список использованной литературы

1. Покровский О.М. Изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // Исследование Земли из космоса. – 2005.–№ 4. – С. 24-34.

2. Покровский О.М., Покровский И.О. Идентификация фундаментального климатического колебания с помощью вейвлет анализа комбинированных данных наземных и спутниковых наблюдений // Исследование Земли из космоса. – 2020. – № 6. – С. 59-72.

3. Башкиров Л.Н., Покровский О.М. О предсказуемости изменений средней глобальной температуры приземного воздуха путем выявления связи с колебаниями температуры поверхности Мирового океана, В сборнике: информационные технологии в образовании. Сборник статей научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых // Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт информационных систем и геотехнологий. Санкт-Петербург, – 2021. – С. 122-127.

4. Башкиров Л.Н., Покровский О.М. Сравнение результатов моделирования глобального климата с реконструкцией по данным наблюдений температуры океана, В сборнике: Международный симпозиум "Атмосферная радиация и динамика" (МСАРД– 2021) //Сборник трудов Международного симпозиума. Санкт-Петербург, – 2021.– С. 135-140.

5. Enfield D.B., Mestas-Nuñez A.M., Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns / J. Clim, 1999.- 12.– Pp. 2719 – 2733, doi:10.1175/1520- 0442(1999)0122.0.CO;2.

6.Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A. Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation / Geophys. Res. Lett, –2006.– 33.- L17706, doi:10.1029 /2006 GL 026242

7. Sutton R.T., Hodson D.L.R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate / Science, –2005.– 309.- Pp.115 – 118, doi:10.1126 /science. 1109496.

8 .Zhang R., Delworth T. L., Held I.M. Can the Atlantic Ocean drive the observed multidecadal variability in Northern Hemisphere mean temperature? / Geophys. Res. Lett, – 2007.– 34.– L02709, doi:10.1029/ 2006GL02868

9. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov>

МАТЕМАТИКА, ИСТОРИЯ, СТУДЕНТЫ

Беликова Галина Иосифовна, Бровкина Екатерина Анатольевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается роль раздела математики «История математики» в преподавании университетского курса высшей математики.

Ключевые слова: математика, история, преподавание, развитие.

MATHEMATICS, HISTORY, STUDENTS

Belikova Galina Iosifovna, Brovkina Ekaterina Anatoljevna
*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. In the article is considered role of «Mathematics history» in successful teaching of mathematic.

Keywords: mathematic, history, students, teaching, development.

Каждый преподаватель университета знает, что процесс воспитания наших студентов проходит через предмет, которому он обучает. Конечно, делается это ненавязчиво, чтобы не вызвать естественный протест, чтобы было всем в новинку и интересно. Главный инструмент воспитания нашей кафедры – это математика. Но многие студенты ещё со школьных времён побаиваются этой загадочной науки, многим она кажется очень сложной.

Известный российский математик и педагог Б.В. Гнеденко в своей работе «Об обучении математике в университетах на рубеже двух тысячелетий» утверждает, что для успешного педагогического процесса очень важны краткие беседы об истории соответствующей ветви математики. Такие беседы важны для развития интереса к самой математике, к её философским вопросам и приложениям. Приступать стоит с рассказа о тех, чьи имена увековечены в истории благодаря их открытиям и идеям. Великий Лейбниц писал, что история математики не только воздаёт каждому по заслугам, но ещё учит искусству творчества.

Гениальный российский математик – «Коперник геометрии» Николай Лобачевский был ректором Казанского университета и тоже уделял большое внимание педагогической деятельности. Он считал, что, прежде всего, студенты должны становиться гражданами России, своими глубокими познаниями составить честь и славу отечества. Представляем маленький отрывок из его удивительно мудрой и эмоциональной статьи «О важнейших предметах воспитания».

«Пусть примеры в истории, истинные понятия о чести, любовь к отечеству, пробуждённые в юных летах, заранее дадут благородное направление».

В наше время тоже очень важно, чтобы молодёжь гордилась нашей страной, на этом основано чувство патриотизма. Поэтому возникла идея проведения цикла докладов, посвящённых истории математики – важному и очень интересному разделу математики.

Первые доклады прошли в конце декабря на экологическом факультете в группе Э-Б20-3-8. Они были посвящены зарождению Петербургской математической школы: «Пётр I и математика», «Пётр и Академия наук», «Леонард Эйлер и Петербург», «Братья Бернулли и Петербург». Студенты выступали и слушали с интересом. Содержание докладов стало для них полным откровением.

После этих удачных докладов стало ясно, что у нашей идеи есть будущее. В этом семестре цикл исторических докладов проводят студенты первого курса экологического факультета в группах Э-Б21-1,2,3-8.

Преподаватель представляет темы докладов и необходимый материал в виде соответствующих очерков с указанием источника (список литературы в конце этой статьи). Студенты сами выбирают тему и могут, если захотят, добавить интересные моменты. После подготовки они выступают в своей группе.

Содержание докладов посвящено математикам, чьи фамилии упоминались на лекциях и практических занятиях. Обязательно отмечается, как были связаны эти математики с Российской математической школой. В качестве примера представляем статью о жизни и творчестве Леонарда Эйлера. Трое студентов 2-го курса экологического факультета сделали три доклада по этой статье.



Леонард Эйлер (1707–1783)

*Читайте, читайте Эйлера - он наш
общий учитель.*

Пьер Лаплас

Леонард Эйлер – крупнейший учёный XVIII столетия, который прославил Петербургскую и Берлинскую академии наук и фактически основал Петербургскую математическую школу.

Эйлер-математик обладал удивительным даром обобщения. Очень быстро понимал и с успехом применял доказанные не только им математические утверждения. Эйлер не был знаком ни с Ньютоном, ни с Лейбницем, но стал их преемником. Биографы Эйлера, говоря о его математических сочинениях, используют слово “красота”. Многие введенные им математические понятия и обозначения без изменения перешли в современную математику. Благодаря Эйлеру стали общепринятыми обозначения тригонометрических функций, приращений в виде Δ , операции суммирования – Σ . Эйлер ввёл обозначение i для $\sqrt{-1}$ по первой букве латинского слова *imaginaris* (мнимый). Для двух знаменитых иррациональных чисел учёный ввёл известные теперь во всём мире обозначения e и π . Число e часто называют числом Эйлера. Логарифмы и тригонометрия в наше время изучаются по Эйлеру.

Эйлер дал общее определение функции как произвольной зависимости одной величины от другой. Ввёл неявно заданные и параметрически заданные функции (1755). Распространил определение функции на величины, зависящие от нескольких переменных.

Эйлер внёс огромный вклад не только в математику. Результатами своих трудов он обогатил механику, астрономию, оптику, физику, кораблестроение, теорию гидротурбин, географию и др. Поэтому XVIII век в науке называют веком Эйлера.

НАЧАЛО ПУТИ

Фамилия Эйлер происходит от латинского слова *ulla* – горшок. Из чего следует, что Эйлер – потомок ремесленников – гончаров. В XVI в. Эйлеры занимались уже прядильным делом. Потом в роду появились пасторы. Одним из них был отец учёного Пауль Эйлер. Он учился в Базельском университете. Слушал лекции знаменитого математика Якоба Бернулли и защитил диссертацию по математике.

Леонард Эйлер родился 15 апреля 1707 г. После рождения сына Пауль получил приход рядом с Базелем. Отец будущего великого учёного давал ему первые уроки математики. В 13 лет Леонард поступил на факультет свободных искусств Базельского университета. В нём было всего 100 студентов и 19 профессоров. Обязательные лекции по математике включали только элементарную математику. Эти лекции читал математик и выдающийся преподаватель Иоганн Бернулли. Он заметил необыкновенные способности Эйлера и посоветовал ему изучать дополнительную литературу по математике. По субботам они обсуждали изученный студентом материал. Позже Эйлер считал, что для него такой метод освоения математики был наилучшим.

По желанию отца Эйлер стал учиться на богословском факультете, но вместо изучения богословия постоянно ходил на лекции Бернулли. Постепенно он подружился с его сыновьями – Даниилом и Николаем.

ПЕРВЫЙ ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПЕРИОД

Первая четверть XVIII в. – время активного развития математического образования в России, которое стало базой для русской математической школы. По совету Лейбница в 1724 году Петр I издал указ об организации Российской академии наук. Вместе с академией построили и открыли университет с гимназией.

Образование Петербургской академии наук совпало с периодом расцвета математики в Европе. При участии знаменитого немецкого профессора Христиана Вольфа, будущего учителя Ломоносова, в Петербург пригласили молодых начинающих европейских учёных. Приехали семь математиков. Среди них были друзья Эйлера – братья Николай и Даниил Бернулли. Позже они помогли Эйлеру приехать в Петербург (1727).

Первый петербургский период жизни Эйлера продолжался 14 лет. За эти годы он провёл глубокие исследования в математическом анализе, геометрии, алгебре, теории чисел, прикладной математике, механике и физике. Эйлер опубликовал 50 и подготовил к печати 85 научных работ и ещё огромный материал для последующих исследований. Слава Эйлера постепенно распространилась по всей Европе.

Удачно складывалась его личная жизнь. В Петербурге он женился на дочери швейцарского художника, работавшего в Петербурге. Родились дети. Был построен рядом с Невой собственный просторный добротный дом на 10-ой линии Васильевского острова. Огорчало лишь одно – полная потеря зрения правого глаза (1738).

В первый год пребывания в России Эйлер достаточно быстро выучил русский язык и принимал большое участие в многообразной жизни ещё очень молодой Российской академии. В университете и гимназии он читал лекции по математике, логике и физике. Уделял большое внимание учебным пособиям для школьного и университетского образования, написал несколько учебников по различным дисциплинам математики. Все учебники Эйлера отличает сочетание научной строгости с простотой изложения. Особенно популярным было учебное пособие «Универсальная арифметика». Этот учебник стал основой всех последующих учебников до конца XIX в.

В XVIII в. встал вопрос о необходимости создания наиболее точных географических карт всей территории России. Для этого образовали группу из геодезистов, чертёжников и математиков. Работая в этой группе, Эйлер не только руководил математической и картографической работами, но и сам занимался черчением карт. В 1745 г. появился «Атлас России». Эйлер писал: «Я уверен, что география российская через наши труды приведена в гораздо исправнейшее состояние, чем география немецкой земли».

Ещё до переезда в Россию Эйлер с большим интересом занимался вопросами кораблестроения и навигацией. В России как раз в это время стали

уделять большое внимание кораблестроению. Поэтому Эйлеру поручили заняться морской наукой. В итоге, в 1749 г. в Петербурге издали на латинском языке двухтомный труд Эйлера «Морская наука, или трактат о кораблестроении и кораблевождении». Эта работа заинтересовала все морские государства Европы. Её переиздали в Париже. Потом она вышла на английском и итальянском языках. На русский язык труды своего учителя перевёл адъютант М. Головин – племянник М. Ломоносова. За свой трактат о морской науке Эйлер получил большие денежные награды от русского и французского правительств.

Первые 14 лет жизни в Петербурге Эйлер занимался фундаментальными исследованиями по интегральному исчислению, алгебре, теории чисел, геометрии. Следил за текущей математической литературой. Детально разбирал новые опубликованные математические утверждения и доказательства. Многие математические открытия, изложенные неточно и неясно, вошли в математику только с помощью Эйлера. Он всегда доводил изученный материал до полной строгости и ясности. Такой случай произошёл со знаменитой формулой

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta,$$

выведенной Р. Коутсом в 1714 г. Долгое время на эту формулу никто не обращал внимания. Благодаря Эйлеру с 1748 г. её стали успешно использовать.

Спокойное и плодотворное течение жизни Эйлера в Петербурге нарушилось в 1740 – 1741 гг. Начались бурные дворцовые конфликты, которые привели к изменениям в руководстве Российской академией. Столичное дворянство и гвардейцы возмущались засильем иностранцев в правительстве. В Петербурге иностранцам стало опасно жить. Между тем, прусский король Фридрих II неоднократно предлагал Эйлеру переехать в Берлин для реорганизации бездействующего Общества наук Берлинской академии. Эйлер согласился с этим предложением. Договорился с Петербургской академией о продолжении научных контактов и в июне 1741 г. со всей семьёй покинул Петербург.

О первом периоде жизни в Петербурге Эйлер писал: «Я и все прочие, имевшие счастье некоторое время состоять при русской императорской академии, должны признать, что всем, что собой представляем, обязаны благоприятным обстоятельствам, в которых мы находились. Что касается собственно меня, то при отсутствии такого благоприятного обстоятельства я бы вынужден был, главным образом, обратиться к другим занятиям, в которых по всем признакам, мог бы заниматься только крохоборством».

БЕРЛИНСКИЙ ПЕРИОД

В Берлине Эйлер стал директором математического класса Берлинской академии. Замещал почти всегда больного президента академии. Он сохранил хорошие отношения с Петербургом, был иностранным членом Петербургской, Парижской академий, королевского и Базельского научных обществ.

Научно-организационная работа Эйлера была разнообразной. Он занимался механикой жидкостей, гидротехникой, оптикой, организацией государственных лотерей, вопросами страхования, баллистикой,

машиностроением и астрономией. За свою теорию движения Луны Эйлер получил крупное вознаграждение от Петербургской академии и премию от английского парламента за лучший способ ориентировки в открытом море. За исследования в теории движения Юпитера, Сатурна и комет учёный получил премию от Парижской академии наук.

Эйлер вёл активную переписку со своими петербургскими коллегами: Миллером, Шумахером, президентом академии Разумовским и др. Он заказывал и покупал для Петербургской академии книги, необходимые инструменты, редактировал математические статьи, писал отзывы на студенческие работы, рекомендовал темы для международных конкурсов, подбирал кандидатов на академические должности. Отзывы на диссертации М. Ломоносова тоже написаны Эйлером. О трудах молодого Ломоносова он писал Шумахеру: «Все сии сочинения не только хороши, но и превосходны. Желать надобно, чтобы все прочие академии были в состоянии показать такие изобретения, какие показал господин Ломоносов». В берлинский период между Эйлером и Ломоносовым велась переписка. Их взгляды на многие явления в физике совпадали или были близки. К сожалению, этим великим учёным при жизни встретиться не пришлось. Но с 1957 г. они покоятся рядом в петербургском Некрополе Александро-Невской лавры.

В Берлине у Эйлера проходили стажировку и жили в его доме русские адъюнкты, среди которых были будущие известные российские учёные С. Котельников, С. Румовский и М. Сафронов. Следует отметить, что Эйлер достаточно высоко ценил способности русских молодых учёных и мастеров. Он писал о русских механиках: «Русский человек представляется в этом более искусным, чем немец, который редко может изготовить что-либо, чему не был обучен. Простые русские люди берутся за всё и по большей части счастливо справляются с делом, что и требуется от механика».

ВТОРОЙ ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПЕРИОД

В Берлине Эйлер прожил 25 лет, наполненных интенсивной работой. Что касается математики, то в Германии он в основном занимался только прикладной математикой, а статьи по теоретическим вопросам самой математики посылал в Петербургскую академию. За эти годы у Эйлера сложились устойчиво плохие отношения с прусским королём Фридрихом II, который считал себя хозяином академии, да и политическая обстановка в Берлине становилась напряжённой. После очередного конфликта с королём Эйлер решил уволиться и вернуться в Россию. Фридрих не хотел отпускать, но знал, что за великого учёного встанет могущественная императрица Екатерина II.

Эйлер прибыл с семьёй в Петербург летом в 1766 г. Возвращение стало праздником для Петербургской академии. Екатерина II дала Эйлеру аудиенцию. Они беседовали о наилучшей организации Петербургской академии наук. Правительство выделило ему деньги, на которые вновь построили большой двухэтажный дом на углу Невы и 10-й линии Васильевского острова. Эйлер

был полон сил и энергии. В России ему создали наилучшие материальные условия.

Вся семья Эйлера обосновалась в Петербурге. Его дети приняли российское подданство. Средний сын Эйлера стал врачом, младший – офицером русской армии, был директором оружейного завода в Сестрорецке и дослужился до генерала. Потомки Эйлера по линии сыновей живут в Петербурге и Москве. Дочери вышли замуж за иностранцев. Всего у Эйлера было 13 детей и 38 внуков.

Осенью 1766 г. Эйлер почти полностью потерял зрение. Но это не отразилось на его работе. Помощником Эйлера стал его старший сын – профессор физики и другие физики и математики. Большую помощь оказывал ученик Даниила Бернулли, швейцарский учёный Н. Фусс. Впоследствии Фусс принял российское подданство, стал известным русским учёным-математиком Николаем Ивановичем Фуссом и мужем одной из внучек Эйлера.

Весной 1771г. семья Эйлера пережила пожар дома. Сгорела библиотека, но все рукописи учёного удалось спасти. Дом полностью восстановили с помощью щедрой материальной правительственной поддержки. Этот дом сохранился до наших дней, его называют домом Эйлера. Находится он по адресу: набережная лейтенанта Шмидта, дом 15. В 1957 г. в юбилейную сессию академии наук, посвященную 250-летию со дня рождения Эйлера, на этом доме укрепили мемориальную доску из белого мрамора, на которой высечен барельеф с профилем учёного. Совсем недавно рядом с домом разбили сквер, который называли сквером Эйлера.

Во второй петербургский период жизни Эйлер познакомился с известным русским изобретателем И. В. Кулибиным, который участвовал в изготовлении микроскопа по проекту Эйлера. Из истории Петербурга хорошо известно, что Кулибин создал проект одноарочного моста через Неву. Интересно, что этот проект поддержал Эйлер и доказал правильность теоретических расчётов Кулибина.

Среди математических трудов, которые опубликовали во 2-й петербургский период, особое место занимает трёхтомник «Интегральное исчисление» (около 1700 страниц). Фолиант посвящён различным разделам математики. Среди них – теория обыкновенных дифференциальных уравнений. Остановимся кратко на вкладе Эйлера в эту теорию.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Дифференциальные уравнения простейших классов умели интегрировать Лейбниц и Ньютон. Ньютон строил решения только в виде степенных рядов. Лейбниц и его ученики искали решения в конечном аналитическом виде (в квадратурах). Им удалось проинтегрировать уравнения первого порядка с разделяющимися переменными, линейные однородные и линейные неоднородные уравнения первого порядка.

Эйлер первый провёл полное исследование линейных уравнений в общем виде. В 1743 г. он опубликовал общий метод решения однородного линейного уравнения с постоянными коэффициентами с помощью представления

неизвестного решения в виде $y = e^{rx}$. В 1753 г. Эйлер построил общее решение линейного неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами. Решение он находил за счёт понижения порядка уравнения с помощью интегрирующего множителя. Эйлер исследовал системы линейных уравнений с постоянными коэффициентами. Получил важные результаты в интегрировании отдельных линейных уравнений 2-го порядка с переменными коэффициентами. Эйлер исследовал уравнения в полных дифференциалах. Вывел условие, при котором выражение

$$P(x, y)dx + Q(x, y)dy$$

будет полным дифференциалом (1740).

Эйлер первый (1739) разработал метод вариации произвольных постоянных. Сейчас мы называем его методом Лагранжа, но Лагранж опубликовал своё изобретение только в 1775 г.

В 1768 г. Эйлер опубликовал придуманный им метод ломаных. Сейчас он называется методом Эйлера для численного решения уравнений и систем первого порядка. Этот метод стал основой для дальнейшего успешного развития других численных методов решения дифференциальных уравнений.

Эйлер систематизировал, обобщил и ввёл многие понятия, характерные только для дифференциальных уравнений: общее решение, частное решение, особые точки, порядок уравнения, разделённые переменные и др.

Благодаря Эйлеру различные приёмы решения дифференциальных уравнений постепенно стали самостоятельной математической дисциплиной, которая успешно применяется в математическом моделировании различных динамических процессов.

За последние 17 лет жизни в Петербурге Эйлер опубликовал более 200 научных работ. Около 300 посмертных сочинений подготовил к печати Фусс. Издание остальных трудов Эйлера, созданных в петербургский период, завершилось только в 1862 г.

Полный список трудов Эйлера содержит около 850 наименований. С 1909 г. в Швейцарии приступили к изданию полного собрания сочинений учёного, которое насчитывает 72 тома.

В России всегда относились и относятся к Леонарду Эйлеру с большой благодарностью и любовью. Считают его не только швейцарским, но и великим российским математиком. Жизни и творчеству Эйлера в России посвящены книги учёных-историков математики. В 1784 г. известный французский скульптор Д. Рашет создал мраморный бюст Эйлера. Он установлен на колонне в большом конференц-зале Российской академии наук.

Список использованной литературы

1. Беликова Г.И., Витковская Л.В. Очерки по истории математики. –СПб.: РГГМУ, – 2016. – 133 с.
2. Беликова Г.И., Витковская Л.В., Бровкина Е.А. Дифференциальные уравнения. – СПб.: РГГМУ, – 2020. – 162 с.
3. Гнеденко Б.В. Очерки по истории математики в России. – М.: ЛКИ, – 2007. – 296 с.

4. Гнеденко Б.В., Гнеденко Д. Б. Об обучении математике в университетах и педвузах на рубеже двух тысячелетий. – М.: КомКнига, – 2006. – 160 с.

ПЁТР I И МАТЕМАТИКА

Беликова Галина Иосифовна, Степанова Дарья Александровна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлена роль императора Петра I в организации математического образования в России и Петербургской академии наук.

Ключевые слова: математика, история, образование, развитие.

PETER I AND MATHEMATICS

Belikova Galina Iosifovna, Stepanova Daria Alexandrovna
*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. In the article is considered role of Peter I in organize mathematics education in Russia and Petersburg academy of science.

Keywords: mathematics, history, education, development.

*Процветание и совершенствование
математики тесно связано
с благосостоянием государства.
Наполеон*

До Петра I специального математического образования и математической науки в России не было. Татаро-монгольское нашествие отрезало Русь от западной Европы. Это задержало развитие математической культуры в нашей стране. Геометрия Евклида оставалась неизвестной до эпохи Петра I.

При Петре I в России началось систематическое математическое образование. При его участии в России организовали первые государственные школы, в которых математика была поставлена на первое место.

Для просвещения России Пётр пытался использовать образовательные достижения Западной Европы. При нём поощрялась учёба за границей, нередко юношей даже заставляли уезжать на учёбу.

Пётр I многое сделал для организации выпуска учебников, в которые были включены различные разделы математики. Сначала такие книги печатали в Амстердаме. Но в России их покупали плохо.

К концу XVII века Пётр I организует государственное руководство профессиональными школами. В начале XVIII века создаются математико-навигационная, инженерная, артиллерийская школы и горное училище. Математика там была основным предметом.

Есть две причины такого большого внимания Петра к математике. Прежде всего, он с юности увлекался математикой и постепенно освоил её в хорошем объёме. Знал те разделы, которыми пользовались инженеры высокой квалификации, архитекторы и навигаторы; принимал участие в издании математических книг. Второй причиной было знакомство Петра со знаменитым немецким математиком Готфридом Лейбницем, с которым он вёл постоянную переписку. Великий математик предлагал царю системную организацию школьного образования, говорил, что именно с помощью образования можно преобразовать мир к лучшему.

В 1714 г. по указу Петра во многих городах были образованы "цифирные" школы. Цифирью в те времена называли элементарную математику. В этих школах преподавали выпускники математико-навигационной школы. С тех пор математика стала основным предметом во всех школах России первой четверти XVIII века.

Значительный вклад в математическое образование внесли представители "учёной дружины" Петра: Генри Фархварсон, Феофан Прокопович, Яков Брюс и Леонтий Магницкий.

В 1698 году Пётр I познакомился в Англии с математиком Генри Фархварсоном, который в то время преподавал математику в одном из университетов Англии. По приглашению Петра он стал работать в математиконавигационной школе. Под его руководством перевели и издали некоторые книги "Начал" Евклида. Фархварсон ввёл арабские цифры в России.

Феофан Прокопович – выдающийся деятель России: математик, педагог, писатель, государственный деятель. На собственные деньги он организовал одну из первых в России частных школ. Математика в этой школе была основным предметом. Курс лекций по математике Феофана Прокоповича отличался высоким теоретическим уровнем, поэтому его можно считать первым преподавателем математики Российской высшей школы.

Яков Брюс – ближайший помощник царя в деле образования и культуры. Благодаря обширным математическим познаниям он написал учебник по геометрии. Текст этого учебника редактировал сам Пётр I.

Первая русская математическая школа зародилась в математико-навигационной школе. Сначала учителями в ней были только иностранцы, которые проводили занятия на английском языке, русского языка они не знали. Ученики ничего не понимали, так как не знали английского. Тогда в школу пригласили преподавать математику талантливого педагога Леонтия Магницкого, которого хорошо знал Пётр I.

Леонтий Магницкий получил образование в Московской славяно-греколатинской академии. В 1702 году в кратчайший срок он написал уникальный учебник по математике под названием "Арифметика". Этот учебник издали в 1703 году и переиздавали в течение 50-ти лет. Книга была очень популярна и не имела конкурентов. Ломоносову очень нравилась эта книга. Он знал её наизусть и называл "воротами учёности".

В книге представлены арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, сведения о метеорологии, астрономии, навигации. В те времена этот учебник был энциклопедией математических знаний. В книге уделено внимание истории, философии, даны советы читателю. Многие разделы учебника изложены в стихотворной форме. Книга прекрасно оформлена, содержит красочные картинки. Учебник стал выдающимся литературным памятником петровской эпохи и сыграл огромную роль в математическом образовании России.

Первая четверть XVIII века – время развития математического образования в нашей стране, которое стало базой для начала развития математической науки в России.

История организации Академии наук связана с перепиской Петра I со знаменитым немецким профессором математики Христианом Вольфом, будущим учителем Ломоносова.

В 20-х годах XVIII века в немецких газетах появилось сообщение, что изобретатель Орфиреус построил вечный двигатель. Пётр I хотел приобрести такой двигатель и написал об этом Вольфу. Профессор ответил, что математики не видели этого изобретения, поэтому уверенности в его вечности нет.

Царь пригласил Вольфа приехать в Россию на любых условиях, лишь бы он взялся за изучение изобретённого вечного двигателя. Но Вольф отказался. Он считал, что для России важнее заняться распространением научных знаний. Для этого не нужны знаменитые учёные, достаточно пригласить из Европы молодых начинающих учёных.

По совету Лейбница Пётр решил организовать Академию и университет с гимназией. 22-го января 1724 года в Зимнем дворце на заседании Сената обсуждался проект основания Академии, а уже 28-го января Сенат издал указ о создании Академии.

Академия состояла из трёх классов, одним из которых был математический. Он делился на четыре кафедры: математики, астрономии, географии и навигации. Пётр I, к сожалению, не дожил до торжественного открытия Академии и университета.

Образование Академии наук совпало с периодом расцвета математики в Европе. При участии Вольфа в Россию приехали семь математиков. Это были представители самой знаменитой в то время европейской математической школы. Среди них были три брата Бернулли: Якоб, Герман, Николай и Христиан Гольдбах. В 1727 по совету братьев Бернулли из Швейцарии в Петербург приехал молодой математик Леонард Эйлер, ставший впоследствии ведущим математиком XVIII века.

Приглашённые учёные должны были следить за научной литературой, новыми открытиями, каждую неделю участвовать в заседаниях, разрабатывать учебные курсы на латинском языке и читать ежедневно одну часовую публичную лекцию. Однако слушателей в университете не было. Пришлось пригласить из Западной Европы восемь студентов. Россия ещё была далека от науки. Не было в русском языке слов "студент" и "наука". Для гимназии набирали детей

солдат, крепостных и мастеровых. Гимназия давала ещё очень мало хорошо подготовленных выпускников для учебы в университете. Поэтому студентов брали из славяно-греко-латинской Академии. Таким же образом в Петербургский университет попал Михайло Ломоносов.

Молодые учёные достаточно быстро организовали систематическое издание первого в России научного журнала, который назывался «Комментарии Санкт-Петербургской Академии». На его страницах можно было прочесть статьи об интегрировании дифференциальных уравнений, о представлении уравнения колебания струны в виде тригонометрического ряда и др. Каждый выпуск этого журнала, начиная со второго, содержал статьи Эйлера.

Прошли столетия и мечта великого Петра сбылась. Постепенно Российская математическая школа стала одной из ведущих математических школ XX века.

Перечислим несколько из всемирно известных имен российских математиков: Н.И. Лобачевский, П.Л. Чебышев, А.А. Марков, А.М. Ляпунов, А.Н. Колмогоров, Л.С. Понтрягин, С.Н. Берштейн, Ю.В. Матиясевич.

Представленная вашему вниманию статья написана в год Петра I. Надеемся, что в России сохранится прекрасная традиция, заложенная Великим Петром – это понимание ведущего места математики в школьном и университетском образовании в нашей стране.

Список использованной литературы

1. Беликова Г.И., Витковская Л.В. Очерки по истории математики. –СПб.: РГГМУ, – 2016. – 133 с.
2. Гнеденко Б.В. Очерки по истории математики в России. – М.: ЛКИ, – 2007. – 296 с.
3. Гнеденко Б.В., Гнеденко Д. Б. Об обучении математике в университетах и педвузах на рубеже двух тысячелетий. – М.: КомКнига, – 2006. – 160 с.

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА НА ЯЗЫКЕ ВНЕШНИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ФОРМ

Литуновский Игорь Николаевич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье представлена форма записи уравнений Максвелла на языке внешних дифференциальных форм, а так же рассмотрены общие понятия из теории внешних дифференциальных форм.

Ключевые слова: Уравнения Максвелла, внешние формы, дифференциальные формы, кососимметричность, базис, электромагнетизм, оператор.

MAXWELL'S EQUATIONS IN THE TERMS OF EXTERNAL DIFFERENTIAL FORMS

Litunovskii Igor Nikolaevich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article presents the form of writing Maxwell's equations in the terms of external differential forms, and also discusses general concepts from the theory of external differential forms.

Keywords: Maxwell's equations, external forms, differential forms, skew symmetry, basis, electromagnetism, operator.

Система уравнений Максвелла описывает электромагнитное поле через две его компоненты – вектора напряженности электрического и вектор напряженности магнитного полей. Существуют две «классические» формы записи этих уравнений – интегральная и дифференциальная. Ниже приведены уравнения Максвелла в дифференциальной форме:

$$\operatorname{div}(\vec{E}) = 4\pi\rho \quad (1.1)$$

$$\operatorname{div}(\vec{H}) = 0 \quad (1.2)$$

$$\operatorname{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1.3)$$

$$\operatorname{rot}(\vec{H}) = \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.4)$$

Однако, обе эти формы записи имеют существенный недостаток – они неинвариантны к преобразованиям координатных систем, то есть их вид может изменяться при замене координат. Кроме того, в таком виде они могут быть записаны лишь в трехмерном евклидовом пространстве, в пространствах со

сложной топологией они не могут быть записаны подобным образом. Все это не соответствует физической сути уравнений Максвелла, ведь нам хотелось бы, что бы они описывали поведение и изменение электромагнитного поля в любого типа пространствах. Потому, нам необходима инвариантная к системе координат форма записи, так же называемая «безындексной». Такой формой записи является запись в дифференциальных формах.

Для того, что бы получить уравнения Максвелла в такой записи, сперва введем некоторые определения. Дифференциальная (так же внешняя) форма ω ставит в соответствие векторам скаляры, то есть:

$$\omega: R^n \rightarrow R^1$$

Заметим так же, что дифференциальные формы линейны:

$$\omega^1(\alpha\bar{x} + \beta\bar{y}) = \alpha\omega^1(\bar{x}) + \beta\omega^1(\bar{y})$$

Рассмотрим, как дифференциальная форма действует на вектор:

$$\begin{aligned}\omega^1(\bar{x}) &= \omega^1(x^k \bar{e}_k) = x^k \omega^1(\bar{e}_k) \equiv \omega_k^1 x^k \\ \omega^1(\bar{e}_k) &= \omega_k^1\end{aligned}$$

Введем так же линейную форму, обозначаемую как dx^i и действующую по правилу:

$$dx^i(\bar{x}) = x^i$$

Рассмотрим как дифференциальная форма действует на вектор $\bar{x}$ (Здесь и далее используется правило суммирования по повторяющимся верхнему и нижнему индексам):

$$\omega^1(\bar{x}) = \omega_k^1 dx^k(\bar{x})$$

Тогда форма ω^1 имеет следующий вид:

$$\omega^1 = \omega_k^1 dx^k$$

Таким образом, эти формы образуют линейное пространство, в котором dx^k играют роль базиса. Результат же действия оператора dx^k на e_l следующий:

$$dx^k(e_l) = \delta_{k,l}$$

Базисы dx^k и e_l называют дуальными относительно друг друга. e_l играют роль базиса в векторном пространстве, а dx^k - в пространстве 1-форм.

Назовем полученную конструкцию 1-формой, или дифференциальной формой первого порядка. Существуют также 2-формы, 3-формы и так далее. Рассмотрим подробнее вычисление 2-формы:

$$\omega^2: R^n \times R^n \rightarrow R^1$$

$$\omega^2(\bar{x}, \bar{y}) = \omega^2(x^k \bar{e}_k, y^j \bar{e}_j) = x^i y^j \omega^2(\bar{e}_i, \bar{e}_j) = x^i y^j \omega_{ij}^2 = \omega_{ij}^2 dx^i \otimes dy^j(\bar{x}, \bar{y})$$

Введенная операция $dx^i \otimes dy^j$ означает следующее:

$$dx^i \otimes dy^j(\bar{x}, \bar{y}) = dx^i(\bar{x}) \cdot dy^j(\bar{y})$$

Аналогичным образом вычисляются формы высших порядков:

$$\omega^n = \omega_{i_1 i_2 \dots i_n}^n dx^{i_1} \otimes dy^{i_2} \otimes \dots \otimes dy^{i_n}$$

Введем далее понятие кососимметричных форм. Если форма задана таким образом, что:

$$\omega^2(\bar{x}, \bar{y}) = -\omega^2(\bar{y}, \bar{x}),$$

то она называется кососимметричной. Из этого следует, что:

$$\omega_{ij}^2 = \omega_{ij}^2(\bar{e}_i, \bar{e}_j) = -\omega_{ji}^2(\bar{e}_j, \bar{e}_i)$$

И, следовательно:

$$\omega^2 = \omega_{ij}^2 dx^i \otimes dy^j = \omega_{ij}^2 (dx^i \otimes dy^j - dx^j \otimes dy^i) = \omega_{ij}^2 dx^i \wedge dx^j$$

$$i < j$$

Введенный нами объект, записанный с помощью символа $\wedge$, называется косым произведением. Например, при помощи косых произведений 3-форма может быть представлена в виде:

$$\omega_{ijk}^3 = \omega_{ijk} dx^i \wedge dx^j \wedge dx^k$$

$$i < j < k$$

Аналогия может быть продолжена вплоть до n-формы.

Сама операция косого произведения может быть представлена в удобном виде через символ Леви-Чевиты. В примере для трехмерного пространства это будет выглядеть следующим образом:

$$dx^i \wedge dx^j \wedge dx^k = \sum_{ijk} (\varepsilon_{ijk} dx^i \otimes dx^j \otimes dx^k)$$

Косое произведение обладает некоторыми важными свойствами:

$$dx^i \wedge dx^i = 0$$

$$dx^i \wedge dx^j = -dx^j \wedge dx^i$$

Теперь, когда мы имеем определения дифференциальных форм, введем некоторые новые операторы. Первым из них будет оператор Ходжа. Оператор Ходжа, обозначаемый как $*$, всякому кососимметричному тензору типа $(0, k)$ ставит в соответствие кососимметричный тензор типа $(0, n-k)$, где n – размерность пространства. Таким образом:

$$T(0, k)$$

$$T(0, n - k) = * T(0, k)$$

Вот, как оператор Ходжа действует на элементы dx , dy и dz в случае трехмерного евклидова пространства:

$$* dx = dy \wedge dz$$

$$* dy = dx \wedge dz$$

$$* dz = dx \wedge dy$$

Далее рассмотрим оператор внешнего дифференцирования, обозначаемый как d . Этот оператор дифференциальной форме порядка k ставит в соответствие дифференциальную форму порядка $k+1$. Если дана дифференциальная форма вида:

$$\omega = \sum_k \omega_{i_1 i_2 \dots i_k} dx^{i_1} \wedge dx^{i_2} \wedge \dots \wedge dx^{i_k}$$

То результат действия оператора d дает форму вида:

$$d\omega = \sum_k (d\omega_{i_1 i_2 \dots i_k}) \wedge dx^{i_1} \wedge dx^{i_2} \wedge \dots \wedge dx^{i_k}$$

$$d\omega_{i_1 i_2 \dots i_k} = \frac{\partial \omega_{i_1 i_2 \dots i_k}}{\partial x^l} dx^l$$

Так же необходимо отметить, что для любой формы ω справедливо:

$$d(d\omega) = 0$$

И, наконец, упомянем оператор де Рама δ , являющийся последовательной комбинацией операторов Ходжа и внешнего дифференцирования:

$$\delta = * d *$$

Допустим далее, что нам дана дифференциальная форма вида (в трехмерном евклидовом пространстве):

$$\omega = T_1 dx^1 + T_2 dx^2 + T_3 dx^3$$

Тогда, в результате ее внешнего дифференцирования, мы получим форму вида (подробные математические выкладки представлены в дополнении):

$$d\omega = \left(\frac{\partial T_2}{\partial x^1} - \frac{\partial T_1}{\partial x^2} \right) dx^1 \wedge dx^2 + \left(\frac{\partial T_3}{\partial x^2} - \frac{\partial T_2}{\partial x^3} \right) dx^2 \wedge dx^3 + \left(\frac{\partial T_1}{\partial x^3} - \frac{\partial T_3}{\partial x^1} \right) dx^3 \wedge dx^1 \quad (2.1)$$

Теперь применим к полученному результату оператор Ходжа:

$$* d\omega = \left(\frac{\partial T_3}{\partial x^2} - \frac{\partial T_2}{\partial x^3} \right) dx^1 + \left(\frac{\partial T_1}{\partial x^3} - \frac{\partial T_3}{\partial x^1} \right) dx^2 + \left(\frac{\partial T_2}{\partial x^1} - \frac{\partial T_1}{\partial x^2} \right) dx^3$$

Видно, что полученное нами выражение можно интерпретировать как ротор векторного поля T . Если же мы применим к форме ω оператор де Рама, то получим выражение вида:

$$\delta\omega = \left(\frac{\partial T_1}{\partial x^1} \right) + \left(\frac{\partial T_2}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial T_3}{\partial x^3} \right) \quad (2.2)$$

Мы получили скаляр, который можно интерпретировать как дивергенцию векторного поля T . Таким образом, мы отождествляем дифференциальную форму $*d$ с ротором векторного поля, а форму δ с дивергенцией. Теперь воспользуемся только что введенными понятиями для того, что бы переписать уравнения Максвелла на языке внешних форм. Эти уравнения мы будем рассматривать в пространстве Минковского $R_{1,3}^4$, где координаты вводятся следующим образом:

$$x^0 = ct, x^1, x^2, x^3$$

А метрический тензор задается формулой:

$$g_{ij} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$$

Введем 4-вектор потенциала:

$$\{A^\mu\} = \{A^0, A^1, A^2, A^3\} \equiv \{c\varphi, \vec{A}\}$$

Так же введем 4-вектор плотности тока:

$$\{j^\mu\} = \{j^0, j^1, j^2, j^3\} \equiv \{c\rho, \vec{j}\}$$

4-вектору потенциала можно поставить в соответствие внешнюю форму:

$$A = \sum_{\mu} A_{\mu} dx^{\mu}$$

с помощью операции опускания индексов A_{μ}

Теперь введем новый тензор F , который назовем тензором электромагнитного поля. Этот тензор получается путем внешнего дифференцирования формы A :

$$F = dA = F_{\mu\nu} dx^\nu \wedge dx^\mu = \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & -B_z & B_y \\ -E_y & B_z & 0 & -B_x \\ -E_z & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Внешний дифференциал формы F будет равен нулю, так как:

$$dF = d(dA)$$

Данное выражение можно переписать в виде:

$$dF = \frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x^k} dx^k \wedge dx^\mu \wedge dx^\nu$$

Выписав все члены этой суммы, не равные нулю (то есть не включающие косые произведения двух и более одинаковых дифференциалов), и записав дифференциалы dx^k , dx^μ и т.д. в виде координат x , y , z , t , получим:

$$\begin{aligned} dF = & \left(\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} \right) dx \wedge dy \wedge dz \\ & + \left(\frac{\partial B_x}{\partial t} + \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) dt \wedge dy \wedge dz \\ & + \left(\frac{\partial B_y}{\partial t} + \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) dt \wedge dz \wedge dx \\ & + \left(\frac{\partial B_z}{\partial t} + \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) dt \wedge dx \wedge dy \end{aligned}$$

И все эти члены, как и их сумма, равны нулю. Первый член, очевидно, является уравнением Максвелла (1.2), а сумма последних трех – уравнением (1.3). Оставшиеся же уравнения Максвелла мы можем получить, подействовав на форму F оператором де Рама и приравняв результат к внешней форме $\frac{4\pi}{c} \bar{j}$, отвечающей 4-вектору плотности тока:

$$\delta F = \left(-\frac{c\partial E_x}{\partial t} + \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) dx + \left(-\frac{c\partial E_y}{\partial t} + \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) dy + \left(-\frac{c\partial E_z}{\partial t} + \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) dz + \left(\frac{c\partial E_x}{\partial x} + \frac{c\partial E_y}{\partial y} + \frac{c\partial E_z}{\partial z} \right) dt = \frac{4\pi}{c} j \quad (2.4)$$

Нетрудно заметить, что первые три члена уравнение Максвелла под номером (1.4), а последний член – уравнение Максвелла (1.1). Таким образом, нами были записаны все четыре уравнения Максвелла на языке дифференциальных форм. Преимущество такой формы записи состоит в том, что она инвариантна относительно преобразования Лоренца. Дифференциальные формы не зависят ни от координат, ни от ориентации, ни от

метрики, что позволяет применять их к любого типа пространствам, в том числе со сложной топологией, не имеющих глобальной системы координат.

Дополнение

Формула (2.1) была получена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \omega &= T_1 dx^1 + T_2 dx^2 + T_3 dx^3 \\
 d\omega &= \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_1}{\partial x^i} dx^i \wedge dx^1 + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_2}{\partial x^i} dx^i \wedge dx^2 + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_3}{\partial x^i} dx^i \wedge dx^3 = \\
 &= 0 - \frac{\partial T_1}{\partial x^2} dx^2 \wedge dx^1 + \frac{\partial T_1}{\partial x^3} dx^3 \wedge dx^1 + \frac{\partial T_2}{\partial x^1} dx^1 \wedge dx^2 + 0 + \frac{\partial T_2}{\partial x^3} dx^3 \wedge dx^2 - \\
 &- \frac{\partial T_3}{\partial x^1} dx^3 \wedge dx^1 - \frac{\partial T_3}{\partial x^2} dx^3 \wedge dx^2 + 0 = \\
 &= \left(\frac{\partial T_2}{\partial x^1} - \frac{\partial T_1}{\partial x^2} \right) dx^1 \wedge dx^2 + \left(\frac{\partial T_1}{\partial x^3} - \frac{\partial T_3}{\partial x^1} \right) dx^3 \wedge dx^1 + \left(\frac{\partial T_2}{\partial x^3} - \frac{\partial T_3}{\partial x^2} \right) dx^2 \wedge dx^3
 \end{aligned}$$

Формула (2.2) была получена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \delta\omega &= * d * \omega \\
 * \omega &= T_1 dx^2 \wedge dx^3 + T_1 dx^1 \wedge dx^3 + T_1 dx^1 \wedge dx^2 \\
 d * \omega &= \frac{\partial T_1}{\partial x^1} dx^1 \wedge dx^2 \wedge dx^3 + \frac{\partial T_2}{\partial x^2} dx^2 \wedge dx^1 \wedge dx^3 + \frac{\partial T_3}{\partial x^3} dx^3 \wedge dx^1 \wedge dx^2 \\
 * d * \omega &= \frac{\partial T_1}{\partial x^1} + \frac{\partial T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial T_3}{\partial x^3}
 \end{aligned}$$

Для того, что бы объяснить возникновение электромагнитного тензора (2.3), вернемся к уравнениям Максвелла.

$$div(\bar{H}) = 0 \rightarrow H = rot(\bar{A}) \quad (2.3.1)$$

$$-\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} rot(\bar{A}) = -rot\left(\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{A}}{\partial t}\right) = rot\left(-\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} - \nabla \varphi\right) = rot(\bar{E})$$

$$\bar{E} = \left(-\nabla \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{A}}{\partial t}\right) \quad (2.3.2)$$

Электромагнитный тензор (2.3) равен:

$$\begin{aligned}
 F &= dA = d(A_\mu dx^\mu) = d(c\varphi t - A_1 x - A_2 y - A_3 z) = \\
 &= \sum_{i=1}^4 \frac{c \partial \varphi}{\partial x^i} dx^i \wedge dt + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial A_1}{\partial x^i} dx^i \wedge dx + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial A_2}{\partial x^i} dx^i \wedge dy + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial A_3}{\partial x^i} dx^i \wedge dz = \\
 &= \frac{c \partial \varphi}{\partial x} dx \wedge dt + \frac{c \partial \varphi}{\partial y} dy \wedge dt + \frac{c \partial \varphi}{\partial z} dz \wedge dt - \frac{\partial A_1}{\partial t} dt \wedge dx - \frac{\partial A_1}{\partial y} dy \wedge dx \\
 &\quad - \frac{\partial A_1}{\partial z} dz \wedge dx - \\
 &- \frac{\partial A_2}{\partial t} dt \wedge dy - \frac{\partial A_2}{\partial x} dx \wedge dy - \frac{\partial A_2}{\partial z} dz \wedge dy - \frac{\partial A_3}{\partial t} dt \wedge dz - \frac{\partial A_3}{\partial x} dx \wedge dz \\
 &\quad - \frac{\partial A_3}{\partial y} dy \wedge dz
 \end{aligned}$$

Сгруппируем полученное выражение:

$$dA = \left(-\frac{c\partial\varphi}{\partial x} - \frac{\partial A_1}{\partial t}\right) dx \wedge dt + \left(-\frac{c\partial\varphi}{\partial y} - \frac{\partial A_2}{\partial t}\right) dy \wedge dt + \left(-\frac{c\partial\varphi}{\partial z} - \frac{\partial A_3}{\partial t}\right) dz \wedge dt$$

$$+ \left(\frac{\partial A_2}{\partial x} - \frac{\partial A_1}{\partial y}\right) dx \wedge dy + \left(\frac{\partial A_3}{\partial x} - \frac{\partial A_1}{\partial z}\right) dx \wedge dz + \left(\frac{\partial A_3}{\partial y} - \frac{\partial A_2}{\partial z}\right) dy \wedge dz$$

В соответствии с (2.3.1) и (2.3.2) первые три члена – E_x , E_y и E_z , а вторые три члена – H_z , H_x и H_y . Зная, что dt , dx , dy и dz соответствуют первой, второй, третьей и четвертой координате пространства Минковского, можем расставить полученные члены суммы в матрице (2.3) в соответствии с номерами координат в косом произведении. Следует так же помнить, что при замене порядка множителей в косом произведении знак произведения меняется на противоположный. Таким образом, тензор (2.3) антисимметричный, то есть:

$$F_{ij} = -F_{ji}$$

Формула 2.4 получается следующим образом:

$$\delta F = * d * F$$

$$F = cE_x dx \wedge dt + cE_y dy \wedge dt + cE_z dz \wedge dt + H_x dy \wedge dz + H_y dz \wedge dx + H_z dx \wedge dy$$

$$* F = cE_x dy \wedge dz + cE_y dx \wedge dz + cE_z dx \wedge dy + H_x dx \wedge dt + H_y dy \wedge dt + H_z dz \wedge dt$$

$$d * F = \frac{c\partial E_x}{\partial x} dx \wedge dy \wedge dz + \frac{c\partial E_x}{\partial t} dt \wedge dy \wedge dz + \frac{c\partial E_y}{\partial y} dy \wedge dx \wedge dz + \frac{c\partial E_y}{\partial t} dt \wedge dx \wedge dz +$$

$$+ \frac{c\partial E_z}{\partial z} dz \wedge dx \wedge dy + \frac{c\partial E_z}{\partial t} dt \wedge dx \wedge dy + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy \wedge dx \wedge dt + \frac{\partial H_x}{\partial z} dz \wedge dx \wedge dt +$$

$$+ \frac{\partial H_y}{\partial x} dx \wedge dy \wedge dt + \frac{\partial H_y}{\partial z} dz \wedge dy \wedge dt + \frac{\partial H_z}{\partial x} dx \wedge dz \wedge dt + \frac{\partial H_z}{\partial y} dy \wedge dz \wedge dt$$

$$* d * F = \frac{c\partial E_x}{\partial x} dt - \frac{c\partial E_x}{\partial t} dx + \frac{c\partial E_y}{\partial y} dt - \frac{c\partial E_y}{\partial t} dy + \frac{c\partial E_z}{\partial z} dt - \frac{c\partial E_z}{\partial t} dz - \frac{\partial H_x}{\partial y} dz + \frac{\partial H_x}{\partial z} dy + \frac{\partial H_y}{\partial x} dz - \frac{\partial H_y}{\partial z} dx - \frac{\partial H_z}{\partial x} dy + \frac{\partial H_z}{\partial y} dx = \frac{4\pi}{c} \bar{j}$$

Сгруппировав слагаемые, получим уравнение (2.4).

Список использованной литературы

1. Болибрух А. А.: «Уравнения Максвелла и дифференциальные формы», МЦНМО, – 2002. – 24 с.
2. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. «ГРАВИТАЦИЯ», Т.1 М.: Мир, – 1977. – 480 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СТРУКТУР

Малафеев Олег Алексеевич, Рединских Надежда Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Зайцева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Кефели Игорь Федорович
Северо-Западный институт управления - филиал РАНХиГС
г. Санкт-Петербург, Россия

Безруких Владимир Юрьевич
ООО «Балткотломаш»
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассматривается система сбора, обработки и защиты информации. В такой системе информация передается по каналам связи из блока сбора и обработки информации в блок защиты информации. Возникает задача обеспечения стабильного функционирования системы сбора, обработки и защиты информации, в случае прекращения функционирования одного из блоков системы. В работе решены иллюстративные численные примеры.

Ключевые слова: система обработки информации, устойчивость, защита информации.

INFORMATION LOSSES DURING THE REGULAR FUNCTIONING OF STRUCTURES

Malafeev Oleg Alekseevich, Redinskikh Nadezhda Dmitrievna
St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Zaitseva Irina Vladimirovna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Kefeli Igor Fedorovich
North-Western Institute of Management of RANEPA,
St. Petersburg, Russia

Bezrukikh Vladimir Yurievich
LLC Baltkoltomash,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The system of collecting, processing and protecting information is considered. In such a system, information is transmitted via communication channels

from the information collection and processing block to the information protection block. The problem of ensuring the stable functioning of the system for collecting, processing and protecting information is occurred, in case of the functioning termination one of the blocks of the system. Illustrative numerical examples are solved in the paper.

Keywords: information processing system, stability, information protection.

Введение

Системы обработки и хранения данных это как правило программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие требуемый уровень скорости обработки, передачи и надежности хранения потоков информации. Неожиданное прекращение функционирования одного из компонентов системы может привести к потере полученных данных. Поэтому основная задача в такой системе обеспечение ее устойчивого функционирования и предотвращение преждевременного прекращения функционирования компонентов системы.

При рассмотрении системы сбора и обработки информации необходимо определять стабильность функционирования системы для предотвращения преждевременного прекращения функционирования составляющих системы. В такой системе информация из блока обработки и сбора информации поступает по каналам связи в блок защиты информации. В блоке защиты информации осуществляется хранение полученных массивов данных. Непредвиденное прекращение функционирования одного из составляющих системы может привести к потере полученной информации. Возникает задача обеспечения непрерывной передачи информации внутри системы сбора, обработки и защиты информации.

Постановка задачи

Рассматривается математическая модель система обработки, передачи и защиты информации. Такая система может быть представлена в виде структурно-логической схемы, например, на рисунке 1.

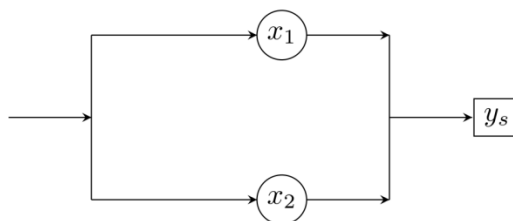


Рисунок 1 - Система обработки, передачи и защиты информации

В таких схемах информация из блока обработки и сбора информации поступает по каналам связи в блок защиты информации. В блоке защиты информации осуществляется хранение полученных массивов данных. Рассмотрим случай, когда существует основной блок обработки информации и вспомогательный. В случае поломки, неисправной работы основного блока обработки информации, система автоматически переключается на

вспомогательный блок обработки и сбора информации. Поломка или неисправная работа одного из блоков не ведет к ухудшению или прекращению работы другого блока обработки и сбора информации. Блоки сбора и обработки информации функционируют независимо друг от друга. Пусть вероятности стабильного функционирования блоков обработки информации для рассматриваемой на рис.1 схеме равны соответственно p_1 и p_2 за рассматриваемое время $t = \tau$. Найдем вероятность стабильного функционирования системы передачи обработки и защиты информации S . Обозначим вероятность прекращения функционирования системы через $\bar{S}$. Событие $\bar{S}$ произойдет в случае прекращения функционирования всех вспомогательных блоков обработки информации. В рассматриваемом на рис.1 примере обозначим через событие B_1 – стабильное функционирование первого блока передачи и обработки информации, через B_2 – стабильное функционирование второго блока обработки информации. Тогда события $\bar{B}_1, \bar{B}_2$ – прекращение стабильного функционирования первого и второго блока обработки и сбора информации соответственно. Для прекращения стабильного функционирования системы S , необходимо чтобы прекратили функционировать первый и второй блок обработки и сбора информации. Тогда по правилу умножения вероятностей независимых событий $P(\bar{S}) = P(\bar{B}_1)P(\bar{B}_2)$. Обозначим вероятность прекращения функционирования системы через Q , а вероятность прекращения функционирования первого и второго блока обработки информации через q_1, q_2 соответственно, тогда $Q = q_1 q_2$. Переходя к формуле вероятностей стабильного функционирования получим $P = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)$. Обобщая формулу на n блоков обработки и сбора информации получим $P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$.

Рассмотрим случай, когда в системе обработки, передачи и защиты информации имеется система резервного копирования полученной информации. Пусть система состоит из блоков обработки информации, блока резервного копирования полученной информации и блока защиты информации. Также предполагается, что в системе поломка или неисправная работа одного из блоков обработки и сбора информации не ведет к ухудшению или прекращению работы других блоков. В случае, если один блок обработки и сбора информации выходит из строя, имеющаяся в нем информация перенаправляется в блок резервного копирования информации и система переключается на работу с другим блоком сбора информации (рис. 2).

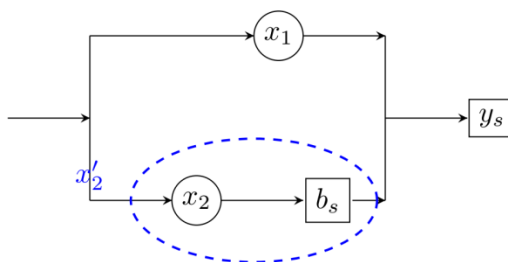


Рисунок 2 - Система обработки, сбора информации с блоком резервного копирования информации

Вероятность стабильного функционирования блоков сбора информации $p_1, p_2, \dots, p_n$. Определим вероятность стабильного функционирования всей системы. Рассмотрим случай функционирования системы сбора и хранения информации как на рис.2. Пусть вероятность стабильного функционирования блока резервного хранения и блока сбора и обработки информации равна $p'_2 = p_3 p_2$. Обозначим через x'_2 блоки сбора и обработки информации и блок резервного копирования. Тогда вероятность стабильного функционирования всей системы сбора и защиты информации будет равна: $P = 1 - (1 - p_1)(1 - p'_2) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_3 p_2)$.

Следовательно, неполная вероятность стабильного функционирования блока резервного копирования информации вычисляется как произведение вероятности стабильного функционирования вспомогательного блока сбора и хранения информации на вероятность стабильного функционирования блока резервного копирования. Если вспомогательных блоков сбора и обработки информации $x_2, \dots, x_n$ и для каждого задан блок резервного копирования $y_3^2, \dots, y_3^n$ то необходимо умножить вероятность стабильного функционирования блока сбора и обработки информации на блок резервного копирования

$P = 1 - (1 - p_1)(1 - p_3^2 p_2)(1 - p_3^3 p_3) \dots (1 - p_3^n p_n)$. Если во всей системе используется только один блок резервного копирования, то один блок со всеми вспомогательными блоками сбора и обработки информации может рассматриваться как один условный блок y'_2 с вероятностью стабильного функционирования p'_2 равной $p'_2 = p_3[1 - (1 - p_2)(1 - p_3) \dots (1 - p_n)]$ а вероятность стабильного функционирования всего блока вычисляется по формуле $P = 1 - (1 - p_1)(1 - p'_2)$.

Примеры

Пример 1. Определить вероятность стабильного функционирования системы состоящей из основного блока сбора и хранения информации x_1 с вероятностью стабильного функционирования $p_1 = 0.7$ и трех вспомогательных блоков сбора и хранения информации с вероятностью стабильного функционирования равной $p_2 = p_3 = p_4 = 0.7$. В случае прекращения функционирования одного из блоков, полученная информация поступает в блок резервного копирования, после чего начинает работать один из вспомогательных блоков сбора и хранения информации. Вероятность стабильного функционирования блока резервного копирования равна $p_3 = 0.85$. Объединим блок резервного копирования со вспомогательными блоками

$$p'_2 = p_3[1 - (1 - p_2)(1 - p_3)(1 - p_4)] = 0.85(1 - 0.3^3) = 0.83$$

Вероятность стабильного функционирования всей системы:

$$P = 1 - (1 - 0.7)(1 - 0.83) \approx 0.949.$$

Пример 2. Рассмотрим систему, состоящую из блока сбора информации, блоков резервного копирования и блока защиты информации. В рассматриваемой системе три блока резервного копирования. Вероятность прекращения функционирования одного из блоков резервного копирования не ведет к прекращению функционирования других блоков. Вероятность

устойчивого функционирования каждого блока резервного копирования равна 0.7. Найти вероятность стабильного функционирования блоков резервного копирования. Поскольку вероятности стабильного функционирования блоков резервного копирования одинаковы, то вероятность стабильного функционирования всех блоков резервного копирования равна $P = 1 - (1 - 0.7)^3 = 0.973$.

Заключение

Таким образом были исследованы два типа систем обработки, передачи и защиты информации. Рассмотрен случай, когда в системе имеется блок резервного копирования. Для каждого типа системы вычислена вероятность стабильного функционирования. В представленных численных примерах рассмотрен случай, когда в системе имеется несколько вспомогательных блоков сбора и хранения информации.

Список использованной литературы

1. Malafeev O.A., Stationary strategies in differential games, USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1977. – Т. 17. № 1. – Pp. 37-46.
2. Zaitseva I., Malafeyev O., Marenchuk Y., Kolesov D., Bogdanova S., Competitive Mechanism For The Distribution Of Labor Resources In The Transport Objective, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1172, International Conference on Applied Physics, Power and Material Science 5–6 December 2018, Secunderabad, Telangana, India, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012089>
3. Малафеев О.А. Ситуации равновесия в динамических играх, Кибернетика. – 1974.– № 3. – Pp. 111-118.
4. Neverova E.G., Malafeyef O.A., A model of interaction between anticorruption authority and corruption groups, В сборнике: AIP Conference Proceedings, – 2015. – 450012 p.
5. Malafeyev O., Awasthi A., Zaitseva I., Rezenkov D., Bogdanova S., A dynamic model of functioning of a bank, В сборнике: AIP Conference Proceedings. International Conference on Electrical, Electronics, Materials and Applied Science. – 2018.– 020042 p.
6. Малафеев О.А. Оптимизационная модель размещения коррупционеров в сети / Малафеев О.А., Рединских Н.Д., Герчиу А.Л. // Строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий (теория и практика с учетом коррупционного фактора) (Passivehouse). — г. Боровичи: НП "НТО стройиндустрии Санкт-Петербурга" ОАО "Боровичская типография", – 2015. — С. 128-140.
7. Малафеев О.А. Модель инвестирования проекта с возможной коррупцией / Малафеев О.А., Рединских Н.Д., Смирнова Т.Е.// Строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий (теория и практика с учетом коррупционного фактора). – Боровичи: Боровичская типография, – 2015. – С. 140-146.

8. Zaitseva I., Malafeyev O., Strekopytov S., Bondarenko G., Lovyannikov D. Mathematic model of regional economy development by the final result of labor resources. В сборнике: AIP Conference Proceedings. International Conference on Electrical, Electronics, Materials and Applied Science. – 2018. – 020011 p.
9. Дроздов Г.Д., Малафеев О.А., Моделирование многоагентного взаимодействия процессов страхования, монография / Дроздов Г. Д., Малафеев О.А. М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. ун-т сервиса и экономики. Санкт-Петербург, – 2010.
10. Малафеев О.А., Королева О.А., Васильев Ю.Г. Компромиссное решение в аукционе первой цены с коррумпированным аукционистом, В книге: Строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий (теория и практика с учетом коррупционного фактора) (Passivehouse). Колчеданцев Л.М., Легалов И.Н., Бадьин Г.М., Малафеев О.А., Александров Е.Е., Герчиу А.Л., Васильев Ю.Г. Коллективная монография. Боровичи, – 2015. – С. 119-127.
11. Малафеев, О.А. Стохастическая модель социально-экономической динамики / Малафеев О.А., Немнюгин С.А.// В сборнике: Устойчивость и процессы управления. Материалы III международной конференции. – Санкт-Петербург, – 2015. – С. 433-434.
12. Malafeyev O.A., Nemnyugin S.A., Ivaniukovich G.A. Stochastic models of social-economic dynamics, В сборнике: 2015 International Conference "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov (SCP). – 2015.– Pp. 483-485.
13. Zaitseva I., Poddubnaya N., Malafeyev O., Vanina A., Novikova E., Solving a dynamic assignment problem in the socio-economic system, В сборнике: Journal of Physics: Conference Series, – 2019. – 012092 p.
14. Malafeyev O., Saifullina D., Ivaniukovich G., Marakhov V., Zaytseva I., The model of multi-agent interaction in a transportation problem with a corruption component, В сборнике: AIP Conference Proceedings, – -2017. – 170015 p.
15. Malafeyev O., Farvazov K., Zenovich O., Zaitseva I., Kostyukov K., Svechinskaya T., Geopolitical model of investment power station construction project implementation, В сборнике: AIP Conference Proceedings. International Conference on Electrical, Electronics, Materials and Applied Science, – 2018. – 020066 p.
16. Малафеев О.А. Модель тендера на рынке риэлтерских услуг с учетом коррупции / Малафеев О.А., Ахмадышина А.Р., Демидова Д.А. // Строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий (теория и практика с учетом коррупционного фактора) (Passivehouse). — г. Боровичи: НП "НТО стройиндустрии Санкт-Петербурга" ОАО "Боровичская типография", – 2015. — С. 161-168.
17. Malafeyev O.A., Rylow D., Pichugin Y.A., Zaitseva I., A statistical method for corrupt agents detection, В сборнике: AIP Conference Proceedings. Сер. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" – 2018. – 100014 p.
18. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Nemnyugin S.A., Kolesin I.D., Zaitseva I.V. The optimization problem of preventive equipment repair planning, В сборнике:

AIP Conference Proceedings. Cep. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" – 2018. – 100013 p.

СУЩЕСТВОВАНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Малафеев Олег Алексеевич, Кирьянен Александр Иванович
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Зайцева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Скворцова Ольга Ивановна
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, Россия

Гурнович Татьяна Генриховна
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

Шлаев Дмитрий Валерьевич
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,
г. Ставрополь, Россия

Аннотация. В работе рассматривается динамика конкурентного взаимодействия между двумя добывающими предприятиями и одним перерабатывающим, изготавливающим из поставляемого сырья готовую продукцию. Математическая модель этого процесса описывается системой трёх дифференциальных уравнений с запаздываниями, характеризующими временные интервалы в поставках сырья и готовой продукции. В работе приводятся условия, при которых решение системы будет стремиться к положению равновесия. Эти условия выражаются в том, что корни соответствующего квазиполинома должны лежать в левой полуплоскости. Приводятся необходимые и достаточные условия, при которых квазиполином третьего порядка относительно z и e^z устойчив. Все эти условия асимптотической устойчивости выражены только через коэффициенты исходной системы уравнений.

Ключевые слова: конкурентное взаимодействие; добывающие и перерабатывающее предприятия; характеристический квазиполином; асимптотическая устойчивость положения равновесия.

EXISTENCE AND STABILITY OF THE EQUILIBRIUM STATE OF INTERACTION BETWEEN ENTERPRISES

Malafeyev Oleg Alekseevich, Kiryanen Alexander Ivanovich
St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Zaitseva Irina Vladimirovna

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Skvortsova Olga Ivanovna,

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Gurnovich Tatiana Genrikhovna

*Kuban State Agrarian University
named after I. T. Trubilin", Krasnodar, Russia*

Shlaev Dmitry Valeryevich

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Annotation. The paper examines the dynamics of competitive interaction between two mining enterprises and one processing enterprise that produces finished products from the supplied raw materials. The mathematical model of this process is described by a system of three differential equations with delays characterizing time intervals in the supply of raw materials and finished products. The paper presents the conditions under which the solution of the system will tend to the equilibrium position. These conditions are expressed in the fact that the roots of the corresponding quasi-polynomial must lie in the left half-plane. Necessary and sufficient conditions are given under which a third-order quasi-polynomial is relatively z and stable. All these conditions of asymptotic stability are expressed only in terms of the coefficients of the original system of equations.

Keywords: competitive interaction; mining and processing enterprises; characteristic quasi-polynomial; asymptotic stability of the equilibrium position.

Введение

Рассмотрим динамику конкурентного взаимодействия между двумя добывающими предприятиями и одним перерабатывающим, изготавливающим из поставляемого сырья готовую продукцию. Будем предполагать, что известно необходимое количество готовой продукции для региона, в котором эта продукция реализуется. В этом случае между добывающими предприятиями возникает конкуренция, характеризующаяся в оптимальном распределении между ними количества добываемого сырья.

Математическая модель этого процесса описывается системой трёх дифференциальных уравнений. Эти уравнения определяются так, чтобы нетривиальным положением равновесия системы были эти три оптимальных значения по добыче сырья и изготовлению готовой продукции. Ставится задача: найти условия, при которых решение системы будет стремиться к оптимальному положению равновесия. Условия будут выражены только через коэффициенты исходной системы. Эти коэффициенты зависят от технологии добычи и изготовления готовой продукции (технологические коэффициенты), от степени конкуренции между добывающими предприятиями, от величины поставок сырья перерабатывающему предприятию, от временных интервалов в поставках сырья потребителю. Задача заключается в том, чтобы описать при

какой зависимости и ограничениях на коэффициенты сохраняется устойчивость всей системы.

Аналогичная задача для двух агентов рассматривалась в [1; 2; 3; 4; 5] и описывалась с помощью системы двух нелинейных дифференциальных уравнений с запаздыванием. В частности, для модели конкуренции двух инвесторов запаздывание играло роль времени оборота капитала. При этом система была описана таким образом, чтобы устойчивое сосуществование обоих инвесторов зависело в первую очередь от коэффициентов взаимной конкуренции, точнее от их произведения. Во всех работах поиск коэффициентных критериев асимптотической устойчивости положения равновесия сводился к нахождению условий, при которых корни характеристического квазиполинома линеаризованной системы лежали в левой полуплоскости. В [6;7] указаны коэффициентные критерии, при которых экономическая система, характеризующая динамику между добывающей и перерабатывающей отраслями устойчива, а в [8;9] получено влияние времени оборота капитала на устойчивость положения равновесия двух конкурирующих фирм. Модель баланса между площадью посевов зерновых и потребностями в них приведена в [10].

1. Математическая модель с двумя добывающими и одним перерабатывающим предприятием

Будем предполагать, что для данного региона известна равновесная точка спроса и предложения, то есть известно необходимое и экономически обоснованное количество готовой продукции K , которую надо выпускать. Тогда согласно технологии первым двум предприятиям необходимо добыть сырья в количестве K_1 и K_2 соответственно.

Запишем математическую модель процесса взаимного влияния трёх агентов систему (1) таким образом, чтобы её нетривиальным положением равновесия была точка (K_1, K_2, K) :

$$\begin{aligned}\frac{dP_1(t)}{dt} &= r_1 \left(1 - \frac{P_1(t-h_1)}{K_1}\right) + \beta_1 \left(1 - \frac{P_2(t)}{K_2}\right) + \gamma_1 \left(1 - \frac{Q(t)}{K}\right) P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= r_2 \left(1 - \frac{P_2(t-h_2)}{K_2}\right) + \beta_2 \left(1 - \frac{P_1(t)}{K_1}\right) + \gamma_2 \left(1 - \frac{Q(t)}{K}\right) P_2(t) . \\ \frac{dQ(t)}{dt} &= (-c + l_1 \frac{P_1(t)}{K_1} + l_2 \frac{P_2(t)}{K_2} - l \frac{Q(t-h_3)}{K}) Q(t)\end{aligned}\tag{1}$$

В данной системе P_1, P_2 – добываемые запасы сырья первым и вторым предприятиями соответственно, а Q – количество изготавливаемого готового продукта третьим предприятием. r_1, r_2 – технологические коэффициенты, характеризующие добычу сырья первыми двумя предприятиями; β_1, β_2 – коэффициенты конкуренции, характеризующие степень давления одного добывающего предприятия на другое.

Коэффициенты γ_1, γ_2 характеризуют степень потребления сырья каждого из поставщиков перерабатывающим предприятием. Эти коэффициенты влияют на скорость добычи сырья первыми двумя предприятиями; h_1, h_2 – промежутки

времени, через которые происходит отправка сырья перерабатывающему предприятию.

Коэффициент $c > 0$ – относительный темп сокращения производства готовой продукции перерабатывающим предприятием при отсутствии сырья (в системе стоит со знаком минус). Коэффициент l характеризует долю старых запасов готовой продукции, имеющиеся у перерабатывающего предприятия, а коэффициенты l_1, l_2 характеризуют доли сырья каждого из добывающих предприятий, участвующих в изготовлении готовой продукции; запаздывание h_3 – время реализации готовой продукции.

При выполнении условия $l_1 + l_2 = l + c$ нетривиальным положением равновесия системы (1) является точка (K_1, K_2, K) . Найдём условия, при которых это положение равновесия будет асимптотически устойчивым.

2. Линеаризованная система и характеристическое уравнение.

Асимптотической устойчивости нетривиального положения равновесия при нулевых запаздываниях

Исследуем на устойчивость нетривиальное положение равновесия (K_1, K_2, K) системы (1). Для этого перейдём от положения равновесия (K_1, K_2, K) к положению равновесия $(0, 0, 0)$, сделав замену переменных

$$P_j(t) = K_j(1 + x_j(t)), \quad j = 1, 2; \quad Q(t) = K(1 + z(t)).$$

Для новой системы выпишем только её линейную часть, отбросив квадратичные члены, которые, согласно теории дифференциальных уравнений, не будут влиять на асимптотическую устойчивость тривиального положения равновесия:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1(t)}{dt} + r_1(x_1(t - h_1) + \beta_1 x_2(t) + \gamma_1 z(t)) &= 0 \\ \frac{dx_2(t)}{dt} + r_2(x_2(t - h_2) + \beta_2 x_1(t) + \gamma_2 z(t)) &= 0 \\ \frac{dz(t)}{dt} + l z(t) + l z(t - h_3) - l_1 x_1(t) - l_2 x_2(t) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристическое уравнение, соответствующее системе (2), имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \lambda + r_1 e^{-\lambda h_1} & \beta_1 r_1 & \gamma_1 r_1 \\ \beta_2 r_2 & \lambda + r_2 e^{-\lambda h_2} & \gamma_2 r_2 \\ -l_1 & -l_2 & \lambda + l + l e^{-\lambda h_3} \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Вначале рассмотрим случай, когда все запаздывания $h_1 = h_2 = h_3 = 0$. Тогда характеристическое уравнение имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \lambda + r_1 & \beta_1 r_1 & \gamma_1 r_1 \\ \beta_2 r_2 & \lambda + r_2 & \gamma_2 r_2 \\ -l_1 & -l_2 & \lambda + 2l \end{vmatrix} = 0$$

Вычислив определитель, мы получим:

$$\begin{aligned} \lambda^3 + (r_1 + r_2 + 2l)\lambda^2 + (r_1 r_2 + 2l(r_1 + r_2) + l_1 \gamma_1 + l_2 \gamma_2 - \beta_1 \beta_2 r_1 r_2)\lambda + \\ + 2l r_1 r_2 + l_1 \gamma_1 r_2 + l_2 \gamma_2 r_1 - l_1 \beta_1 \gamma_2 r_1 - l_2 \beta_2 \gamma_1 r_2 - 2l \beta_1 \beta_2 r_1 r_2 = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Тривиальное положение равновесия системы (2) асимптотически устойчиво в том и только том случае, если корни характеристического

уравнения (3) лежат в левой полуплоскости. При нулевых запаздываниях корни многочлена (4) будут находиться в левой полуплоскости тогда и только тогда, если коэффициенты многочлена третьей степени положительны, то есть

$$r_1 r_2 + 2l(r_1 + r_2) + l_1 \gamma_1 + l_2 \gamma_2 > \beta_1 \beta_2 r_1 r_2 \quad \text{и} \quad (5)$$

$$2l r_1 r_2 + l_1 \gamma_1 r_2 + l_2 \gamma_2 r_1 > l_1 \beta_1 \gamma_2 r_1 + l_2 \beta_2 \gamma_1 r_2 + l \beta_1 \beta_2 r_1 r_2. \quad (6)$$

Неравенство (5) означает, что взаимная конкуренция двух добывающих предприятий не должна быть большой и произведение коэффициентов, характеризующих конкуренцию, ограничена сверху левой частью неравенства (5). Неравенство (6) также даёт ограничения на коэффициенты конкуренции β_1 и β_2 .

Если рассмотреть частный случай конкуренции двух добывающих предприятий при отсутствии третьего перерабатывающего, тогда все коэффициенты $l = l_1 = l_2 = 0$. В этом случае из неравенства (5) имеем

$$r_1 r_2 > \beta_1 \beta_2 r_1 r_2 \quad \text{или} \quad \beta_1 \beta_2 < 1. \quad (7)$$

Неравенство (7) является необходимым и достаточным условием устойчивого сосуществования двух конкурентов, двух инвесторов, двух конкурирующих за общую пищу особей и встречается в работах [1;2;3;4;5]. Отметим следующий факт. Биологи делят коэффициенты биологической системы на первичные и вторичные признаки. К первичным признакам относятся коэффициенты, характеризующие естественный рост популяции, к вторичным – коэффициенты конкуренции. В биологических работах и наблюдениях указывается, что на устойчивость биосистемы в первую очередь влияют вторичные признаки. Неравенство (7) указывает, что на устойчивость экосистемы или биосистемы в первую очередь влияет взаимодействие вторичных признаков, которое должно быть малым.

При нулевых запаздываниях устойчивое сосуществование одного добывающего и одного перерабатывающего предприятия определяется условием $l_1 + l_2 > l$ [2;4], которое в нашем случае также выполняется. Таким образом, построенная нами система (1) и линеаризованная система (2) в частных случаях двух конкурирующих агентов или одного добытчика и одного переработчика дают такие же условия устойчивого сосуществования, как и в научной литературе при рассмотрении только двух агентов.

3. Квазиполином и его корни при одинаковых запаздываниях

Рассмотрим характеристическое уравнение (3) при одинаковых запаздываниях $h_1 = h_2 = h_3 = h > 0$. Вычислим определитель (3), записав его в порядке убывания по степеням λ и возрастания по степеням $e^{-\lambda h}$:

$$\Delta = \lambda^3 + l\lambda^2 + (r_1 + r_2 + l)\lambda^2 e^{-\lambda h} + (l_1 \gamma_1 r_1 + l_2 \gamma_2 r_2 - \beta_1 \beta_2 r_1 r_2)\lambda + l(r_1 + r_2)\lambda e^{-\lambda h} - \\ - (l_1 \beta_1 \gamma_2 + l_2 \beta_2 \gamma_1 + l\beta_1 \beta_2)r_1 r_2 + (l_1 \gamma_1 + l_2 \gamma_2 - l\beta_1 \beta_2)r_1 r_2 e^{-\lambda h} + l r_1 r_2 e^{-2\lambda h} + l r_1 r_2 e^{-3\lambda h} = 0 \quad (8)$$

Умножим равенство (8) на $h^3 e^{3\lambda h}$ и сделаем в полученном уравнении замену переменной $z = h\lambda$. В результате мы получим равенство нулю квазиполинома третьей степени относительно z и e^z :

$$H(z, e^z) = z^3 e^{3z} + lhz^2 e^{3z} + (r_1 + r_2 + l)hz^2 e^{2z} + (l_1\gamma_1 r_1 + l_2\gamma_2 r_2 - \beta_1\beta_2 r_1 r_2)h^2 z e^{3z} + \\ + l(r_1 + r_2)h^2 z e^{2z} - (l_1\beta_1\gamma_2 + l_2\beta_2\gamma_1 + l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3 e^{3z} + (l_1\gamma_1 + l_2\gamma_2 - l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3 e^{2z} + (9) \\ + lr_1 r_2 h^3 e^z + lr_1 r_2 h^3 = 0$$

Перегруппируем в (9) слагаемые в порядке убывания степеней экспонент, умноженных на соответствующий многочлен:

$$H(z) = (z^3 + lhz^2 + (l_1\gamma_1 r_1 + l_2\gamma_2 r_2 - \beta_1\beta_2 r_1 r_2)h^2 z - (l_1\beta_1\gamma_2 + l_2\beta_2\gamma_1 + l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3)e^{3z} + \\ + ((r_1 + r_2 + l)hz^2 + l(r_1 + r_2)h^2 z + (l_1\gamma_1 + l_2\gamma_2 - l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3)e^{2z} + lr_1 r_2 h^3 e^z + lr_1 r_2 h^3 = 0 \quad (10)$$

Для сокращения записи обозначим

$$p_1 = lh, \quad p_2 = (l_1\gamma_1 r_1 + l_2\gamma_2 r_2 - \beta_1\beta_2 r_1 r_2)h^2, \quad p_3 = (l_1\beta_1\gamma_2 + l_2\beta_2\gamma_1 + l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3, \\ q_1 = (r_1 + r_2 + l)h, \quad q_2 = l(r_1 + r_2)h^2, \quad q_3 = (l_1\gamma_1 + l_2\gamma_2 - l\beta_1\beta_2)r_1 r_2 h^3, \quad u = lr_1 r_2 h^3, \\ v = lr_1 r_2 h^3 \quad (11)$$

тогда квазиполином $H(z)$ будет иметь вид:

$$H(z) = (z^3 + p_1 z^2 + p_2 z - p_3)e^{3z} + (q_1 z^2 + q_2 z + q_3)e^{2z} + ue^z + v = 0. \quad (12)$$

Из теоремы Л.С.Понтрягина [11] следует, что если квазиполином не имеет главного члена, то существует цепочка его корней, вещественные части которых стремятся к $+\infty$. У нас квазиполином (12) имеет главный член $z^3 e^{3z}$ бистепени (3,3). Будем искать условия, при которых его корни лежат в левой полуплоскости.

Подставим $z = iy$ в квазиполином (12) и выделим вещественную

$$F(y) = (y^3 - p_2 y) \sin 3y - (p_1 y^2 + p_3) \cos 3y - (q_1 y^2 - q_3) \cos 2y - q_2 y \sin 2y + u \cos y + v \quad (13)$$

и мнимую

$$G(y) = -(y^3 - p_2 y) \cos 3y - (p_1 y^2 + p_3) \sin 3y - (q_1 y^2 - q_3) \sin 2y + q_2 y \cos 2y + u \sin y \quad (14)$$

части. Нам также понадобятся производные

$$F'(y) = (3y^2 - p_2) \sin 3y + 3(y^3 - p_2 y) \cos 3y - 2p_1 y \cos 3y + 3(p_1 y^2 + p_3) \sin 3y - \\ - 2q_1 y \cos 2y + (2q_1 y^2 - 2q_3) \sin 2y - q_2 \sin 2y - 2q_2 y \cos 2y - u \sin y \quad (15)$$

$$G'(y) = (-3y^2 + p_2) \cos 3y + 3(y^3 - p_2 y) \sin 3y - 2p_1 y \sin 3y - 3(p_1 y^2 + p_3) \cos 3y - \\ - 2q_1 y \cos 2y + 2(q_1 y^2 - q_3) \sin 2y + q_2 \cos 2y - 2q_2 y \sin 2y + u \cos y \quad (16)$$

Теорема 1. [4, с.78; 11]. Для того, чтобы корни квазиполинома (12) лежали в левой полуплоскости необходимо и достаточно, чтобы вектор $w = H(iy)$ амплитудно-фазовой характеристики монотонно поворачивался вокруг начала координат в положительном направлении и с положительной скоростью, не проходя при этом через начало координат. Аналитически это выражается следующим условием

$$G'(y)F(y) - F'(y)G(y) > 0 \text{ для любого } y. \quad (17)$$

Замечание 1. Неравенство (17) означает, что амплитудно-фазовая характеристика при своём повороте вокруг начала координат пересекает любую прямую, проходящую через точку (0,0) под положительным углом и не касается её.

Согласно критерию Понтрягина [4;11] корни квазиполинома будут находиться в левой полуплоскости в том и только том случае, если при изменении $y \in [-2\pi k; 2\pi k]$ для больших k вектор $w = H(iy)$ должен повернуться

вокруг начала координат на угол $4\pi ks + \pi$, то есть пересечь оси $F(y)$ и $G(y)$ $4ks + r$ раз. В нашем случае квазиполином (12) имеет бистепень ($s=3$, $r=3$), следовательно, на отрезке $[-2\pi k; 2\pi k]$ функции $F(y)$ и $G(y)$ должны иметь $12k+3$ корней. За исключением отрезка $[-2\pi; 2\pi]$ на остальных отрезках длиной 4π функции $F(y)$ и $G(y)$ должны иметь 12 корней.

Поскольку функция $G(y)$ – нечётная, то на отрезке $[-2\pi; 2\pi]$ у неё должно быть 15 корней и они все должны быть простыми и вещественными. Это свойство тригонометрических многочленов аналогично тому, что обычный многочлен n -ой степени имеет не более n корней и если их ровно n , то они вещественные и простые. Тогда на отрезке $[0; 2\pi]$ должно быть 7 корней функции $G(y)$, из которых один корень $y_0 = 0$. Так как функция $F(y)$ – чётная, то на отрезке $[0; 2\pi]$ у неё должно быть уже только 6 вещественных и простых корней.

Неравенство (17), характеризующее монотонный поворот в положительном направлении амплитудно-фазовой характеристики в точке $y_0 = 0$, выглядит следующим образом:

$$G'(0)F(0) = (p_2 - 3p_3 + q_2 + u)(-p_3 + q_3 + u + v) > 0 \quad (17')$$

В рассматриваемой задаче (малость коэффициентов взаимной конкуренции) неравенство (17') равносильно системе неравенств

$$\begin{aligned} q_3 + u + v &> p_3 \\ p_2 + q_2 + u &> 3p_3 \end{aligned} \quad (18)$$

Возвратившись к коэффициентам системы (2), из (18) мы получим

$$\begin{aligned} l_1\gamma_1 + l_2\gamma_2 + 2l &> l_1\gamma_2\beta_1 + l_2\gamma_1\beta_2 + 2l\beta_1\beta_2 \\ l_1\gamma_1r_1 + l_2\gamma_2r_2 + l(r_1 + r_2 + r_1r_2) &> 3(l_1\gamma_2\beta_1 + l_2\gamma_1\beta_2 + l\beta_1\beta_2)r_1r_2h + \beta_1\beta_2r_1r_2 \end{aligned} \quad (19)$$

Первое неравенство в (19) всегда выполняется, если конкуренция между добывающими предприятиями мала ($\beta_1\beta_2 < 1$), что вполне согласуется с приводимыми выше утверждениями об устойчивости экономической системы. Второе неравенство в (19) накладывает более жёсткие ограничения на коэффициенты конкуренции, стоит коэффициент 3. Более того, из второго неравенства получаем максимально допустимое запаздывание $h_{\max}$, при котором не будет потери устойчивости экономической системы:

$$h_{\max} = \frac{l_1\gamma_1r_1 + l_2\gamma_2r_2 + l(r_1 + r_2 + r_1r_2) - \beta_1\beta_2r_1r_2}{3(l_1\gamma_2\beta_1 + l_2\gamma_1\beta_2 + l\beta_1\beta_2)r_1r_2} \quad (20)$$

Определение. Квазиполином называется устойчивым, если все его корни лежат в левой полуплоскости.

Приведём критерий устойчивости рассматриваемого нами квазиполинома с произвольными неотрицательными коэффициентами. В отличие от критерия Эрмита – Биллера [4; 12; 13] мы будем требовать выполнения неравенства (17) не в корнях функций $F(y)$ или $G(y)$, а в точках их пересечений.

Теорема 2. Корни квазиполинома (12)

$$H(z) = (z^3 + p_1z^2 + p_2z - p_3)e^{3z} + (q_1z^2 + q_2z + q_3)e^{2z} + ue^z + v = 0$$

с неотрицательными коэффициентами лежат в левой полуплоскости, если выполнены следующие условия:

$$1.1. G(0)=0, G'(0)>0, F(0)>0, F'(0)=0, F'(+0)<0, F'(-0)>0: \quad (21)$$

1.2. Уравнение $F(y)=G(y)$ имеет на отрезке $[0;2\pi]$ 6 корней, причём

$$y_1 \in (0; \frac{\pi}{3}), y_2 \in (\frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3}), \dots, y_6 \in (\frac{5\pi}{3}; 2\pi); \quad (22)$$

1.3. В точках y_i графики функций $F(y)$ и $G(y)$ пересекаются и в этих точках выполнены неравенства:

$$\text{при } y_1 \in (0; \frac{\pi}{3}), G(y_1)=F(y_1)>0, G'(y_1)>0, F'(y_1)<0,$$

$$\text{при } y_2 \in (\frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3}) G(y_2)=F(y_2)<0, G'(y_2)<0, F'(y_2)>0, \quad (23)$$

$$\text{при } y_6 \in (\frac{5\pi}{3}; 2\pi) G(y_6)=F(y_6)<0, G'(y_6)<0, F'(y_6)>0.$$

Замечание 2. Если условия 1.1 и 1.2 или 2.1 и 2.2 теоремы 2 выполнены, то в неравенствах 1.3 и 2.3 достаточно проверить только выполнение неравенств в точке $y_1 \in (0; \frac{\pi}{3})$. Все остальные цепочки неравенств будут автоматически выполняться.

Это следует из того, что функции $F(y)$ и $G(y)$ являются тригонометрическими полиномами одинаковой бистепени, поэтому их корни и точки их пересечения обладают периодичностью следования друг за другом. Неравенства (23) соответствуют неравенству (17), откуда следует, что амплитудно-фазовая характеристика будет монотонно поворачиваться вокруг начала координат. Следовательно, что все корни квазиполинома (12) лежат в левой полуплоскости.

Учитывая замечание 2, выразим теперь условия теоремы 2 через коэффициенты квазиполинома (12).

Теорема 3. Корни квазиполинома (12)

$$H(z) = (z^3 + p_1 z^2 + p_2 z - p_3)e^{3z} + (q_1 z^2 + q_2 z + q_3)e^{2z} + ue^z + v = 0$$

лежат в левой полуплоскости, если выполнены следующие условия:

$$1.1. \begin{aligned} q_3 + u + v &> p_3 \\ p_2 + q_2 + u &> 3p_3 \end{aligned} \quad (24)$$

$$2p_1 + 2q_1 + 6p_2 + 4q_2 + 4q_3 + u > 9p_3$$

1.2. Уравнение

$$\begin{aligned} &y^3(\sin 3y - \cos 3y) - p_1 y^2(\sin 3y + \cos 3y) - p_2 y(\sin 3y - \cos 3y) - p_3(\sin 3y + \cos 3y) - \\ &- q_1 y^2(\sin 2y + \cos 2y) - q_2 y(\sin 2y - \cos 2y) + q_3(\sin 2y + \cos 2y) + u(\sin y + \cos y) + \\ &+ v = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

имеет на отрезке $[0;2\pi]$ 6 корней, причём

$$y_1 \in (0; \frac{\pi}{3}), y_2 \in (\frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3}), \dots, y_6 \in (\frac{5\pi}{3}; 2\pi);$$

1.3. В корне y_i уравнения (25) имеют место неравенства:

$$\begin{aligned} G(y_1) = &-(y_1^3 - p_2 y_1) \cos 3y_1 - (p_1 y_1^2 + p_3) \sin 3y_1 - (q_1 y_1^2 - q_3) \sin 2y_1 + q_2 y_1 \cos 2y_1 + \\ &+ u \sin y_1 > 0 \end{aligned} \quad (26)$$

$$G'(y_1) = (-3y_1^2 + p_2) \cos 3y_1 + 3(y_1^3 - p_2 y_1) \sin 3y_1 - 2p_1 y_1 \sin 3y_1 - 3(p_1 y_1^2 + p_3) \cos 3y_1 - \\ - 2q_1 y_1 \cos 2y_1 + 2(q_1 y_1^2 - q_3) \sin 2y_1 + q_2 \cos 2y_1 - 2q_2 y_1 \sin 2y_1 + u \cos y_1 > 0 \quad (27)$$

$$F(y_1) = (y_1^3 - p_2 y_1) \sin 3y_1 - (p_1 y_1^2 + p_3) \cos 3y_1 - (q_1 y_1^2 - q_3) \cos 2y_1 - q_2 y_1 \sin 2y_1 + \\ + u \cos y_1 + v > 0 \quad (28)$$

$$F'(y_1) = (3y_1^2 - p_2) \sin 3y_1 + 3(y_1^3 - p_2 y_1) \cos 3y_1 - 2p_1 y_1 \cos 3y_1 + 3(p_1 y_1^2 + p_3) \sin 3y_1 - \\ - 2q_1 y_1 \cos 2y_1 + (2q_1 y_1^2 - 2q_3) \sin 2y_1 - q_2 \sin 2y_1 - 2q_2 y_1 \cos 2y_1 - u \sin y_1 < 0 \quad (29)$$

Замечание 3. В отличие от условий Эрмита – Биллера [4; 5; 12; 13], левая часть уравнения (25) является многочленом третьей степени относительно $\cos kx + \sin kx$ при $k = 1; \pm 2; \pm 3$. Для его численного решения надо составить программу нахождения корней многочлена третьей степени, в которой аргументом будет выражение $\cos kx + \sin kx$ при $k = 1; \pm 2; \pm 3$. Если корни уравнения (27) не будут попадать в указанные в (22) интервалы, то меняя коэффициенты квазиполинома (12), следует добиться выполнения условий (22). Получаем задачу стабилизации экономической системы, состоящей из трёх агентов. Выполнение условия (17) в точках пересечения функций $F(y)$ и $G(y)$ наиболее эффективно, чем в корнях этих функций.

5. Выводы

В частном случае системы (1) при отсутствии третьего уравнения и нулевом запаздывании получаем $\beta_1 \beta_2 < 1$. Это неравенство означает, что устойчивое сосуществование двух конкурентов в первую очередь зависит от слабой взаимной конкуренции [1-5]. В работе Л.С. Понтрягина [11] дана асимптотическая формула величины угла поворота амплитудно-фазовой характеристики и из этой формулы получено условие, когда корни квазиполинома лежат в левой полуплоскости. В теореме 1 доказано, что корни квазиполинома лежат в левой полуплоскости в том и только том случае, если амплитудно-фазовая характеристика монотонно поворачивается вокруг начала координат в положительном направлении и с положительной скоростью. Этот результат справедлив не только для квазиполиномов, но и для функций комплексного переменного другого вида. В отличие от условий Эрмита – Биллера, которые проверяют выполнение неравенства (17) в корнях функции $F(y)$ или $G(y)$, в теореме 2 предложено проверять неравенство (17) в точках пересечения графиков этих функций, точнее только в одной точке. Получается достаточно симметричное и красивое уравнение. В теореме 3 приведены коэффициентные критерии устойчивости квазиполинома третьего порядка относительно z и экспоненты. На основании этих критериев в теореме 4 получены необходимые и достаточные условия устойчивого сосуществования экономической системы (1). В (20) приведено максимально допустимое запаздывание $h_{\max}$, при котором не будет потери устойчивости экономической системы.

Список использованной литературы

1. Кирьянен А.И. Математическая модель конкуренции двух инвесторов с учётом времени оборота капитала // Государство и бизнес. Вопросы теории и практики: моделирование, менеджмент, финансы: Материалы III Междун. Конф. С-Петербург, 21.04.2011 г. / под общ. Ред. Курзенёва В.А., Тарасова Н.А..- СПб.: Издат. СЗАГС, – 2011. – С. 95-100.
2. Hsu S.B. Predator - mediated coexistence and extinction. Biosc., Vol. 54, no. 3/4, – 1981. – Pp. 231-248.
3. Кирьянен А.И. Веселов В.О. Влияние времени оборота капитала и коэффициентные критерии асимптотической устойчивости положения равновесия двух конкурирующих фирм // Государство и бизнес. Вопросы теории и практики: Материалы V Международной конференции, С-Петербург, 23-24.04.2013г. / под общ. Ред. Косова Ю.В.; Сев.-Зап. ин-т упр. — фил. РАНХиГС. — СПб.: ИПЦ СЗИУ — фил. РАНХиГС, – 2013.– С. 50-62.
4. Кирьянен А.И. Устойчивость систем с последствием и их приложения. СПб.: Изд-во СПбГУ, – 1994. – 240 с.
5. Kirjanen A.I. Coefficient criteria of stable coexistence of two competitors // In 2015 International Conference "Stability and Control Processes" in Memory of Zubov V.I. (SCP), Pp. 463-476. IEEE Xplore Digital Library, October 2015. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7342190/> DOI: 10.1109/SCP.2015.7342190
6. Kirjanen A.I., Malafeyev O.A., Redinskikh N.D. Developing industries in cooperative interaction: equilibrium and stability in processes with lag // STATISTICS, OPTIMIZATION AND INFORMATION COMPUTING Stat., Optim. Inf. Comput., Vol. 5, December 2017. – Pp. 341–347.
7. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Kirjanen A.I. Stability in the process with lag of interaction between mining and processing industries // Mathematics, Optimization and Control <https://e.mail.ru/messages/inbox/> – 2018. arXiv.org > math > arXiv:1706.06010v1. Optimization and Control (math.OC)
8. Кирьянен А.И., Логоша Е.С. Влияние времени оборота капитала на устойчивость положения равновесия двух конкурирующих фирм // Процессы управления и устойчивость. Том 4 (20), № 1 / Научный редактор тома Н.В.Смирнов. СПб.: Издательский дом Фёдоровой Г.В., – 2017. – С. 617-624. ISSN 2313 – 7304
9. Kirjanen A.I., Logosha E.S. Influence of capital turnover time on the stability of equilibrium point of two competing firms // The XLVIII annual international conference on Control Processes and Stability (CPS'17). Abstracts / Edited by N.V. Smirnov. St. Petersburg: Publishing House Fedorova G.V., – 2017. – 125 p. ISBN 978-5-9907101-5-3
10. Малафеев О.А., Кирьянен А.И. Модель баланса между площадью посевов зерновых и потребностями в них: устойчивость равновесия с учетом запасов // В сборнике: Сопряжение Большого евразийского партнерства и инициативы "Один пояс - один путь": стратегии, программы, проекты агропродовольственного партнерства. Сборник научных трудов секции "Моделирование процессов инвестирования и экологическое сопровождение

совместных агропродовольственных проектов" II Евразийской научно-технологической конференции. – 2018. – С. 135-142.

11. Понтрягин Л.С. О нулях некоторых трансцендентных функций // Изв. АН СССР. Сер. матем. – 1942. – Т.6. № 3. – С. 115-134.

12. Bellman R., Cook K.L. Differential dierence equations, Academic Press, New York, – 1963.

13. Hale J.K. Theory of functional dierential dierence equations, Springer Verlag, New York, – 1977.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПО
ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПРОЕКТАМ МЕТОДАМИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Малафеев Олег Алексеевич, Колесин Игорь Дмитриевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

*Шлаев Дмитрий Валерьевич, Орел Юлия Викторовна,
Поддубная Наталия Владимировна*
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,
г. Ставрополь, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются факторы и условия, обеспечивающие эффективное распределение трудовых ресурсов по инвестиционным проектам методами математического моделирования. Разработанные модели можно будет использовать для разработки управленческих решений по устойчивому территориальному развитию.

Ключевые слова: моделирование, математические методы, трудовые ресурсы, управление.

**STUDY OF THE DISTRIBUTION OF LABOR RESOURCES FOR
INVESTMENT PROJECTS BY MATHEMATICAL MODELING METHODS**

Malafeyev Oleg Alekseevich, Kolesin Igor Dmitrievich
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
*Shlaev Dmitry Valeryevich, Orel Yulia Viktorovna,
Poddubnaya Natalia Vladimirovna*
Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Annotation. The article discusses the factors and conditions that ensure the effective distribution of labor resources for investment projects by mathematical modeling methods. The developed models can be used to develop management solutions for sustainable territorial development.

Keywords: modeling, mathematical methods, human resources, management.

Введение

Внедрение инвестиционных проектов в условиях непостоянства поступления инвестиций сопряжено с риском потерять значительную часть средств вследствие «замораживания» инвестиций. Эти потери обусловлены, например, инфляцией. В этом случае организация, получив начальную сумму средств, может направить их на оплату некоторого объема равнозначных (нет приоритетных) по стоимости работ или ресурсов. Так как рост инфляции разный для разных ресурсов, имеет смысл последовать принципу

справедливости, выделяя для каждого инвестиционного проекта с одинаковым риском потерь часть средств из-за вынужденного простоя. Так как все инвестиционные проекты равнозначны, то и сроки «замораживания» будем полагать одинаковыми.

Заметим, что, поступая по принципу справедливости, организация в большей степени избегает возникновения конфликта с заказчиками, чем если бы действовала другим способом.

Сформулируем задачу распределения имеющихся средств по трудовым ресурсам, соблюдая равенство опасности конфликта.

Постановка задачи

Рассматриваются n инвестиционных проектов. Ресурсы (в том числе трудовые) в объеме $V_1, \dots, V_n$ необходимо распределить по n инвестиционным проектам. Пусть выполнение работ требует затрат $S_1, \dots, S_n$ ($S_i = c_i V_i, i = \overline{1, n}$). Предполагается, что имеющихся на данный момент средств (B) недостаточно для оплаты трудовых ресурсов по всем n инвестиционным проектам, т. е.

$$S_1 + S_2 + \dots + S_n > B.$$

Если по каждому инвестиционному проекту привлечь только часть трудовых ресурсов, то в силу инфляции инвестиционные проекты могут потребовать заметно больших вложений к моменту поступления следующих средств. Пусть на данный момент решено разделить трудовые ресурсы на части $u_1, \dots, u_n$ ($c_1 u_1 + \dots + c_n u_n = B$).

Тогда для выполнения остатка работ потребуются вложения

$$S'_i = c'_i (V_i - u_i), c'_i > c_i, i = \overline{1, n},$$

где c_i – удельные затраты на момент времени $t_0 = 0$, c'_i – удельные затраты спустя время t . Примем их рост затрат пропорциональным времени t :

$$c'_i = c_i + k_i t, k_i > 1, i = \overline{1, n}.$$

Составим отношения

$$S'_i / S_i = r_i, \overline{1, n}.$$

Назовем r_i степенью опасности банкротства i -го инвестиционного проекта.

Требуется распределить имеющиеся средства (B) в соответствии с принципом равной опасности по всем инвестиционным проектам:

$$r_1 = \dots = r_n,$$

т. е. найти такие $u_1, \dots, u_n$, что выполняется

$$\frac{c'_i (V_i - u_i)}{c_i u_i} = r$$

(r – неизвестная величина).

Способ решения

Для отыскания r используется видоизмененный алгоритм [1]. Пусть заданы сроки замораживания $T_1, \dots, T_n$. Тогда $c'_i = c_i + k_i T_i, i = \overline{1, n}$.

Составим отношения $\frac{c'_i (V_i - u_i)}{c_i u_i} = r_i, i \in \overline{1, n}$. Найдем из каждого из этих выражений величину u_i :

$$u_i = \frac{c'_i V_i}{c'_i + c_i r_i}, i \in \overline{1, n}.$$

Подставим эти величины в уравнение $c_1 u_1 + \dots + c_n u_n = B$ и положим $r_i = r, i \in \overline{1, n}$. Получим уравнение относительно неизвестного r . Пусть его решение есть $r = r^*$. Подставив найденное r^* в выражение для u_i , найдем все u_i .

Численный пример

Пусть имеется три инвестиционных проекта ($n = 3$) с объемами трудовых ресурсов:

$$V_1 = 150, V_2 = 200, V_3 = 300$$

и удельными стоимостями их на момент времени $t_0 = 0$:

$$c_1 = 2, c_2 = 1, c_3 = 3.$$

Предположим, что за время приостановки всех работ на время $T_1 = T_2 = T_3 = 10$, инфляция на трудовые ресурсы растет в пропорции со временем, при этом коэффициенты пропорциональности заданы:

$$k_1 = 0.2, k_2 = 0.3, k_3 = 0.3.$$

Тогда через время $T = 10$ новые удельные стоимости будут:

$$c'_1 = 4, c'_2 = 4, c'_3 = 6 \quad (c'_i = c_i + k_i T_i, i = 1, 2, 3).$$

Пусть на момент времени $t_0 = 0$ организация располагала средствами в размере $B = 400$, тогда как проектная стоимость их в сумме составляет

$$2 \cdot 150 + 1 \cdot 200 + 1 \cdot 300 = 1400.$$

Требуется распределить средства B по трем инвестиционным проектам так, чтобы общая стоимость трудовых ресурсов в объемах u_1, u_2, u_3 составила $B = 400$:

$$c_1 \cdot u_1 + c_2 \cdot u_2 + c_3 \cdot u_3 = 295. \quad (*)$$

Составим выражение, отражающее принцип равных рисков:

$$\frac{c'_1(150 - u_1)}{c_1 u_1} = \frac{c'_2(200 - u_2)}{c_2 u_2} = \frac{c'_3(300 - u_3)}{c_3 u_3} = r.$$

Выразив каждое из u_1, u_2, u_3 через r и подставив их в (*), получим:

$$c_1 \frac{c'_1 150}{c'_1 + c_1 r} + c_2 \frac{c'_2 200}{c'_2 + c_2 r} + c_3 \frac{c'_3 300}{c'_3 + c_3 r} = 400.$$

Единственный положительный корень r этого уравнения найдется равным $r^* = 5.6$ (с невязкой $400 - 399.123 = 0.877$).

Подставляя $r^* = 8.3$ в выражение для u_1, u_2, u_3 , найдем требуемые объемы трудовых ресурсов:

$$u_1^* = 39.475, u_2^* = 83.333, u_3^* = 78.947 \quad \left(u_i = \frac{c'_i V_i}{c'_i + c_i r^*} i = 1, 2, 3 \right)$$

(вместо проектных 150, 200, 300).

Список использованной литературы

1. Колесин И.Д., Андреев Н.С. Программа для определения оптимальных доз противогриппозной вакцинации населения. Бюл. РФ Программы для ЭВМ. 2014. № 3. Номер регистрации: 2014612285.

2. Зайцева И.В. Экономико-математическое моделирование рынка труда: монография / Ставрополь, – 2009. – 116 с.
3. Malafeyev O., Rylow D., Novozhilova L., Zaitseva I., Popova M., Zelenkovskii P. Game-theoretic model of dispersed material drying process. AIP Conference Proceedings. Сер. "International Conference on Functional Materials, Characterization, Solid State Physics, Power, Thermal and Combustion Energy, FCSPTC 2017", – 2017. – 020063 p.
4. Malafeyev O.A., Rylow D., Zaitseva I., Ermakova A., Shlaev D. Multistage voting model with alternative elimination. AIP Conference Proceedings. Сер. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" – 2018. – 100012 p.
5. Зайцева И.В. Решение задачи оптимального управления математической моделью сложной экономической системы // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2010. – № 5. – С. 16-21.
6. Зайцева И.В., Попова М.В., Казначеева О.Х., Тихонов Э.Е. Системный подход как теоретическая основа исследования структуры трудового потенциала // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-1. – С. 190-194.
7. Зайцева И.В., Попова М.В., Ермакова А.Н., Богданова С.В. Управление трудовым потенциалом региона методами математического моделирования // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-4. – С. 723-726.
8. Zaytseva I.V., Popova M.V., Bogdanova S.V., Ermakova A.N. Economic and mathematical methods of labor potential management of the region // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. – 2016. – № S2. – Pp. 149-153.
9. Zaitseva I.V., Semenchin E.A., Vorokhobina Ya.V., Popova M.V. Optimal control of labour potencial of the region // Life Science Journal. – 2014. – Т. 11. № 11s. – Pp. 674-678.
10. Семенчин Е.А., Зайцева И.В. Математическая модель самоорганизации рынка труда для нескольких отраслей // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2003. – Т. 10. № 3. – С. 740-741.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ИХ СВЯЗЬ С ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ЦИКЛАМИ КОНДРАТЬЕВА

Покровский Олег Михайлович

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург*

Аннотация. В данной статье рассматриваются связи между основными климатическими индикаторами АМО (атлантическое мультideкадное колебание), ТПВ (температура приземного воздуха), с одной стороны, и изменениями глобальной экономической конъюнктуры, описываемые экономическими К-циклами Кондратьева с другой стороны.

Ключевые слова: климатические индексы АМО и ТПВ, естественные изменения климата, К-циклы Кондратьева, статистические связи.

NATURAL CLIMATE FLUCTUATIONS AND THEIR RELATION TO N.D. KONDRATIEV'S ECONOMIC CYCLES

Pokrovsky Oleg Mikhailovich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. This article examines the relationship between the main climatic indicators of AMO (Atlantic multidecadal oscillation), SAT (surface air temperature), on the one hand, and changes in the global economic conjuncture described by Kondratyev K-cycles, on the other hand.

Keywords: AMO and SAT climate indices, natural climate changes, Kondratyev K-cycles, statistical relationships.

Введение

Увеличение температуры на поверхности Земли было наиболее быстрым в течение 1920-30-ых и 1980-90-ых годов. Наибольшие увеличения произошли в высоких широтах в течение зимы. Стремление человека учесть серьезность угроз, которые, как предполагается, лежат далеко в будущем, встроено в математическую формулировку подхода к управлению рисками. Насколько сильно он должен быть взвешен, когда на карту поставлены интересы будущих поколений, скорее это вопрос этики, чем экономики. Возникающая математическая теория нелинейных систем уравнений обеспечивает язык и некоторые базовые концепции для разработки рациональных дискуссий по этим вопросам, но выводы из математической теории в отсутствие вспомогательных наблюдательных свидетельств следует рассматривать как очень спекулятивные. Стремясь поддержать свою позицию, экологи вполне

понятно склонны присоединяться к членам научного сообщества, которые в числе более громких выражают озабоченность по поводу потенциальных опасностей глобального потепления, в то время как противники государственного регулирования получают поддержку со стороны климатологов-скептиков. По опыту автора, степень этого процесса «естественного отбора» весьма ограничена, но более наглядные примеры хорошо известны. Если бы общественность воспринимала такую поляризованную науку как норму, она могла бы подорвать доверие к климатическим исследовательским сообществам, оставляя ее уже неспособной оказывать независимые, авторитетные, беспристрастные советы. Наука не дает нам всех ответов. Учитывая нынешние неопределенности в модельных прогнозах, нельзя с абсолютной уверенностью утверждать, что прогнозируемое накопление углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере будет иметь тяжелые последствия для окружающей среды и / или общества, и не может по праву утверждать, что такой большой И для всех практических целей необратимое накопление не стоит серьезно беспокоиться и предпринимать действия по предотвращению. Достижения в научном понимании не являются «конечными результатами», которые можно предсказать, запрограммировать и управлять. По их опыту, некоторые научные достижения, такие как открытие озоновой дыры, произошли совершенно неожиданно; Некоторые, такие как развитие прогнозирующей способности для Эль-Ниньо, были основаны на результатах фундаментальных исследований, которые в то время считались экзотическими целевыми программами. А некоторые, подобно сдерживанию ядерного синтеза, были отложены на десятилетия из-за отсутствия необходимых научных прорывов. Сохранение объективности, независимости и достоверности рекомендаций, которые научное сообщество предоставляет общественности по проблеме потепления парниковых газов, будет иметь жизненно важное значение для целостности процесса принятия решений в предстоящие годы.

1. Квазициклическая составляющая изменений климата на Земле.

Нынешнее потепление климата не является чем-то исключительным. В прошлые исторические эпохи потепления сменялись периодами похолодания. Об этом свидетельствуют керны антарктического и гренландского льда, относящиеся к периодам в несколько сотен тысяч предшествующих лет. Радиоизотопный анализ образцов льда и горных пород позволяет получить климатическую картину за последние несколько тысяч лет [1]. Эта работа показала, что потепления происходили в прошлом квазирегулярно каждые две или три сотни лет (Рисунок -1). Наиболее интенсивные потепления совпадают по времени с периодами расцвета той или иной цивилизации (Минойская, Римская, эпоха Возрождения, 4-я промышленная революция в конце 20-го века). Самые низкие температуры наблюдались сравнительно недавно, в малый ледниковый период (минимум Маундера). Он совпал с наиболее продолжительным периодом «слабого солнца», когда минимальные значения

солнечной активности сохранялись на протяжении около 140 лет. В это время происходили не только наиболее частые пандемии, но также и значимые социальные потрясения (голод, неурожаи, восстания, революции). Таким образом, представляет интерес проследить связи природных и социальных флуктуаций для того, чтобы можно было предвидеть развитие будущих исторических событий.

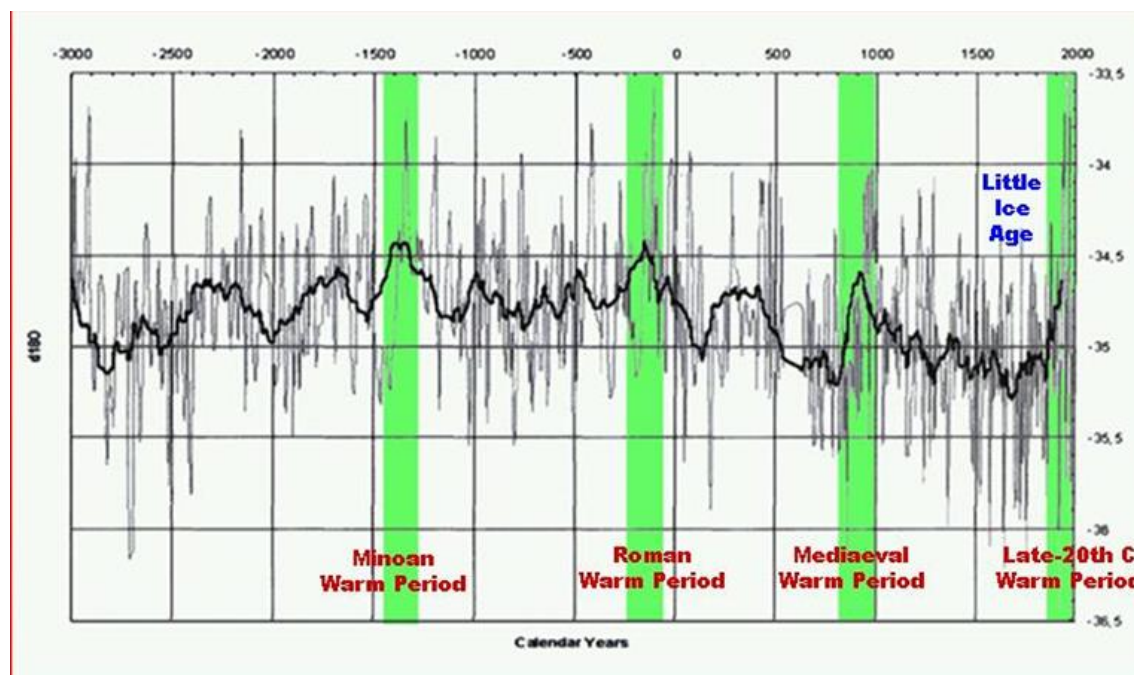


Рисунок 1 - Вариации температуры в Гренландии за последние 5 тысяч лет по данным работы (Grootes, P., *et al.* 1993)

2.Период инструментальных наблюдений

Наиболее надежные инструментальные гидрометеорологические наблюдения относятся к периоду последних 160-170 лет. Оказалось, что на основе рядов данных такой продолжительности можно сделать выводы относительно более короткопериодных колебаний климатической системы [2-3]. Выяснилось, что принципиальное значение имеет фундаментальное климатическое колебание имеющее квазипериодичность порядка 60-80 лет[3], связанное с АМО (Атлантическим мультideкадным колебанием) [4-7] .

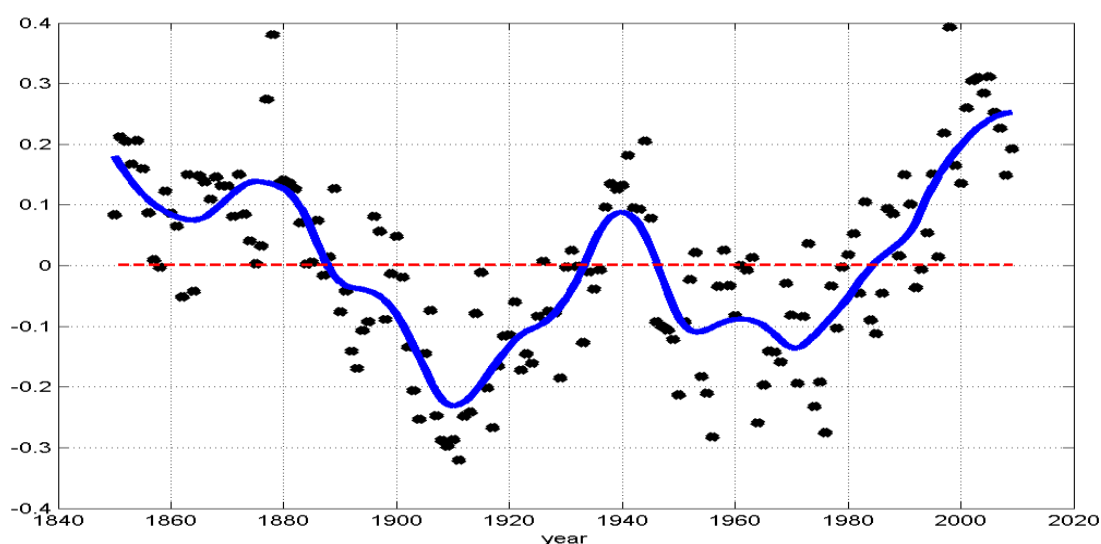
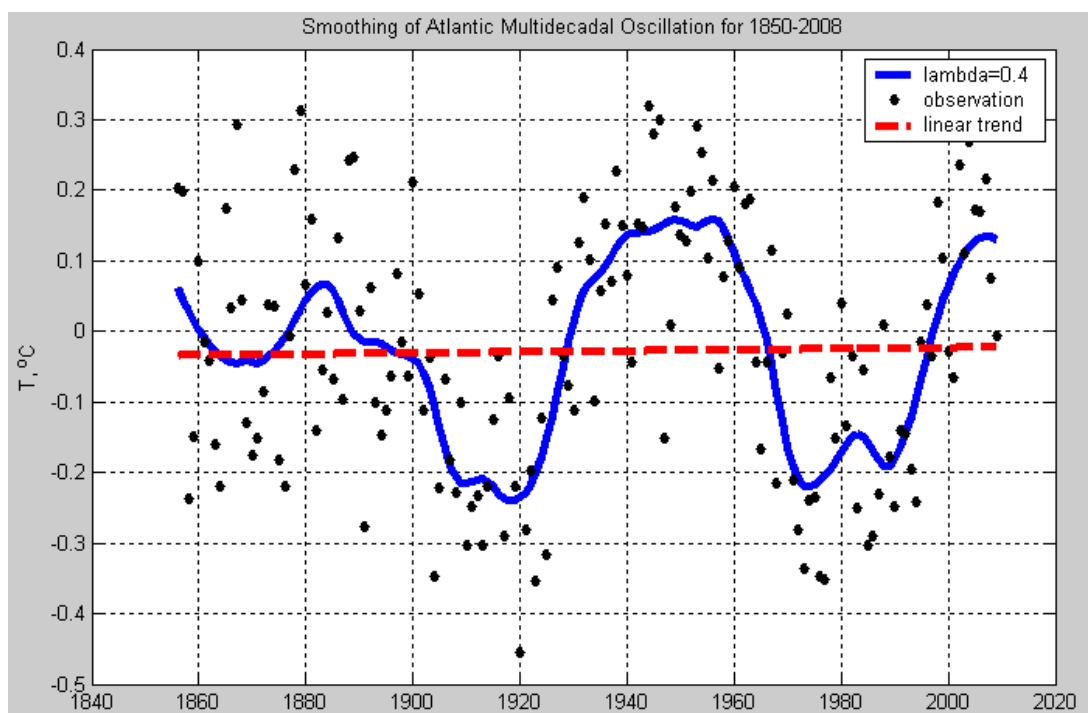


Рисунок 2 - Сравнение климатических рядов АМО (верхний рисунок) и глобальной температуры приземного воздуха (ТПВ) после исключения линейного тренда [3]

Сравнение климатических рядов АМО и глобальной температуры приземного воздуха (ТПВ) после исключения линейного тренда [3] представлено на рис. 2. Когерентность очевидна, что подтверждает гипотезу работ [4-7] о том, что именно колебания температуры океана определяют флуктуации (ТПВ).

3. Циклы Кондратьева.

Согласно работам Н.Д. Кондратьева и его последователей [8-10] в долгосрочной динамике некоторых экономических индикаторов наблюдается определённая циклическая регулярность, в ходе которой на смену фазам роста

соответствующих показателей приходят фазы их относительного спада с характерным периодом этих долгосрочных колебаний порядка 40-60 лет. Характерный период кондратьевских волн — 50 лет с возможным отклонением в 10 лет (от 40 до 60 лет), циклы состоят из чередующихся фаз

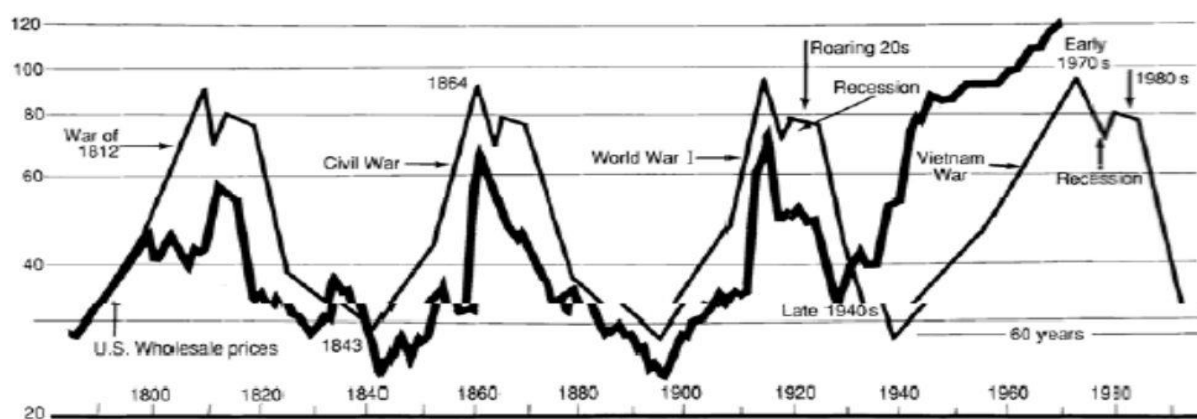
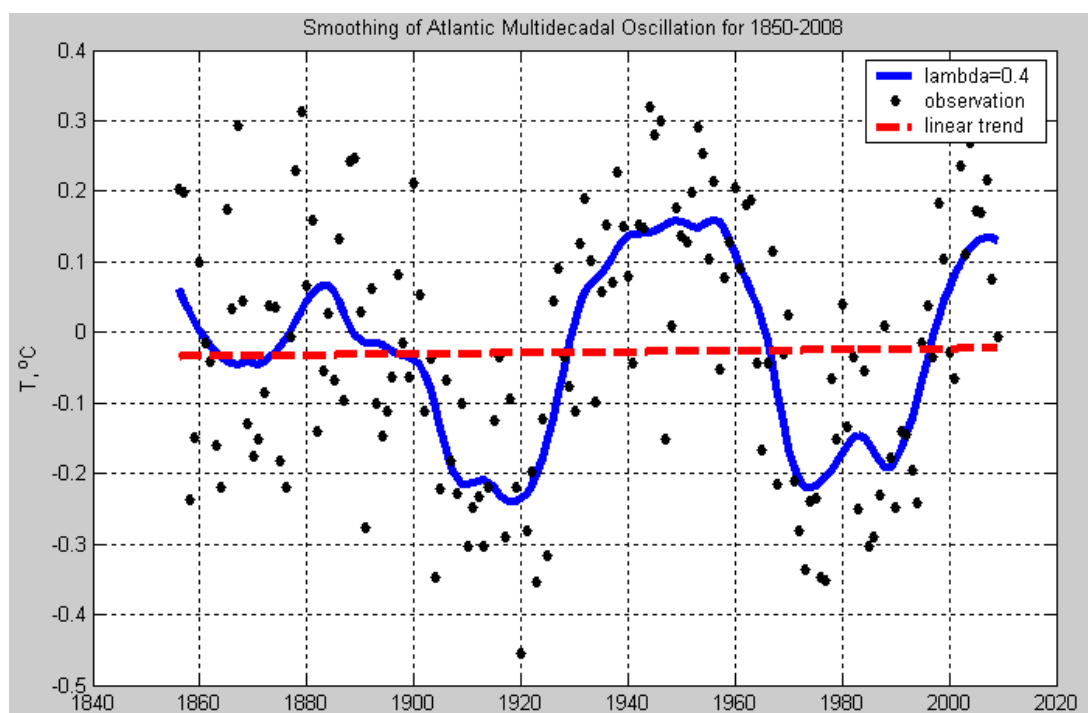


Рисунок 3 - Сравнение колебаний АМО [3] (верхний рисунок) и циклов Кондратьева[10-11]

относительно высоких и относительно низких темпов экономического роста. Кондратьев отметил четыре эмпирические закономерности в развитии больших циклов. Детали в [10-11].

Сопоставление циклов Кондратьева с климатическим индексом АМО показывает их очевидную взаимосвязь (рис.3). Более внимательное изучение рис.3 приводит к заключению об определенных фазовых сдвигах обоих графиков. И это требует дальнейших исследований.

Список использованной литературы

1. Grootes, P., Stuiver, M., White, J. *et al.* Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature* **366**, 552–554 (1993). <https://doi.org/10.1038/366552a0>.
2. Покровский О.М. Изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы. Исследование Земли из космоса. – 2005.-№ 4. – С. 24-34
3. Покровский О.М. Идентификация фундаментального климатического колебания с помощью вейвлет анализа комбинированных данных наземных и спутниковых наблюдений // Покровский О.М., Покровский И.О. // Исследование Земли из космоса. – 2020. – № 6. – С. 59–72.
4. Enfield, D. B., and A. M. Mestas-Nuñez (1999), Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns, *J. Clim.*, 12, 2719 – 2733, doi:10.1175/1520- 0442(1999)0122.0.CO;2.
5. Knight, J. R., C. K. Folland, and A. A. Scaife (2006), Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17706, doi:10.1029/2006GL026242
6. Sutton, R. T., and D. L. R. Hodson (2005), Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate, *Science*, 309, 115 – 118, doi:10.1126/science.1109496.
7. Zhang, R., T. L. Delworth, and I. M. Held (2007), Can the Atlantic Ocean drive the observed multidecadal variability in Northern Hemisphere mean temperature?, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L02709, doi:10.1029/ 2006GL02868
8. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. — М.: Экономика, – 2002. – 767 с
9. Глазьев С. Ю., Микерин Г. И., Тесля П. Н. Длинные волны: научно-технический прогресс и социально-экономическое развитие.— 1-е изд.— Новосибирск: Наука, – 1991. – 224 с.
10. Гринин Л. Е., Коротаев А. В. Глобальный кризис в ретроспективе. Краткая история подъемов и кризисов: от Ликурга до Алана Гринспена. — 2-е изд. — М.: Либроком, – 2012. — 336 с.
11. Шумпетер Й. Теория экономического развития (книга), М.: Прогресс, – 1982.— 49 с.

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА МЕЖГОДОВЫХ И МНОГОДЕСЯТИЛЕТНИХ
ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МИРОВОГО ОКЕАНА НА
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНДЕКСА СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО
КОЛЕБАНИЯ**

*Семиделова Алина Олеговна, Трофимов Владимир Денисович,
Покровский Олег Михайлович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В данной статье рассматриваются наличие связи между индексом атлантического мультideкадного колебания (АМО) и режимом межгодовых и многодесятилетних вариаций температуры Мирового океана. В работе применен метод кросс-корреляционного анализа для выявления связи между двумя индексами.

Ключевые слова: АМО, Северная Атлантика, индекс М2 температуры Мирового океана, статистические связи.

**INFLUENCE OF THE REGIME OF INTERANNUAL AND MULTI-
DECADE VARIATIONS IN THE TEMPERATURE OF THE WORLD
OCEAN ON THE VARIABILITY OF THE NORTH ATLANTIC
OSCILLATION INDEX**

*Semidelova Alina Olegovna, Trofimov Vladimir Denisovich,
Pokrovsky Oleg Mikhailovich*

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. This article examines the relationship between the index of the North Atlantic oscillation and the regime of interannual and multi-decade variations in the temperature of the world ocean, their influence on each other. The work would use the method of correlation analysis to identify the relationship between the two indices.

Keywords: AMO, North Atlantic, M2 index, statistical relations.

Введение

Многочисленные режимы межгодовых и многодесятилетних вариаций условий океана, каждый из которых имеет характерные пространственные и временные закономерности, были обнаружены на основе анализа температуры поверхности моря, доступного в настоящее время во всем мире за более чем 100 лет и изложены в известной работе [3]. Самой значительной компонентой

изменчивости Мирового океана является мода M1, обусловленная явлением Эль-Ниньо–Южное колебание (ЭНЮК) [4], интенсивность которого описывается несколькими индексами NINO 1, 2, 3, 4 и обобщена в многокомпонентном индексе ЭНЮК (МЭИ) [1]. Режимы, выявленные в результате регионального анализа, включают Атлантическое Мультidesятилетнее Колебание (АМО – средняя температура поверхностных вод Северной Атлантики)

Эти океанические явления оказывают влияние на изменения в атмосфере и характеризуются хорошо известными климатическими, экосистемными и социально-экономическими воздействиями. При этом наиболее часто обсуждается межгодовой ЭНЮК, изменчивость которого изучается для использования в долгосрочных прогнозах погоды, что имеет важное народнохозяйственное значение.

Численные индексы, определяющие режимы изменчивости климата, часто рассчитываются в региональных масштабах, и в результате неясна их полная географическая протяженность: не до конца понятно, являются ли они независимыми и в каких пространственных масштабах их можно идентифицировать. Очевидно, что медленные колебания АМО оказывают существенное влияние на изменение климата в Европе и в европейской части России. Поэтому основная цель этой статьи состоит в том, чтобы определить насколько глобальные режимы ТПО (температуры поверхности океана) влияют на АМО, а затем связать их с региональными климатическими [1], [4], [6] явлениями. Второй акцент делается на взаимосвязях режимов, в которых доминирует североатлантический регион.

Использованные данные

В данной работе были использованы ряды среднегодовых значений ТПО в Северной Атлантике, представленные мультидекадным индексом АМО за 1910 – 2021 годы (<https://climexp.knmi.nl>) и индексом M2 для Северной Атлантики за период с 1910 по 2021 год. Индекс M2 получен путем проецирования аномалий ERSSTv5 SST на первые 6 EOF из архива ERSSTv3b (1910-2009, локальный линейный тренд удален), определенный в Messie и Chavez 2011 [5].

Методика исследования

В качестве основы нами использовалась методология, основанная на кросскорреляционном анализе [7].

Кросскорреляционные функции делают возможным определение связи между двумя процессами, в количественной форме выраженной коэффициентом корреляции, который изменяется от 0 до 1, и дополнительно дает информацию о наличии этой зависимости от временных лагов т.е. с учетом запаздывания или опережения одного процесса относительно другого.

Первый этап нашего исследования заключается в использовании кросскорреляционной функции для анализа приведенных ниже рядов данных. Поставленная задача состояла в выявлении временных интервалов (областей)

со статистически значимыми (0,05) коэффициентами корреляции. Поэтому найденные коэффициенты корреляции надежны с вероятностью 95% и более.

Результаты исследования

Область статически значимых величин на рисунке 1 выделяется при помощи дополнительных кривых параллельных временной оси абсцисс, которые получаются при создании графика кросскорреляционной функции. Уровень низкой статистической значимости на графике находится внутри зоны, границами которой являются эти две красные линии. Уровень статической значимости установлен как 95% вероятности, все точки расположенные ниже или выше красных линий превышают заданный уровень значимости.

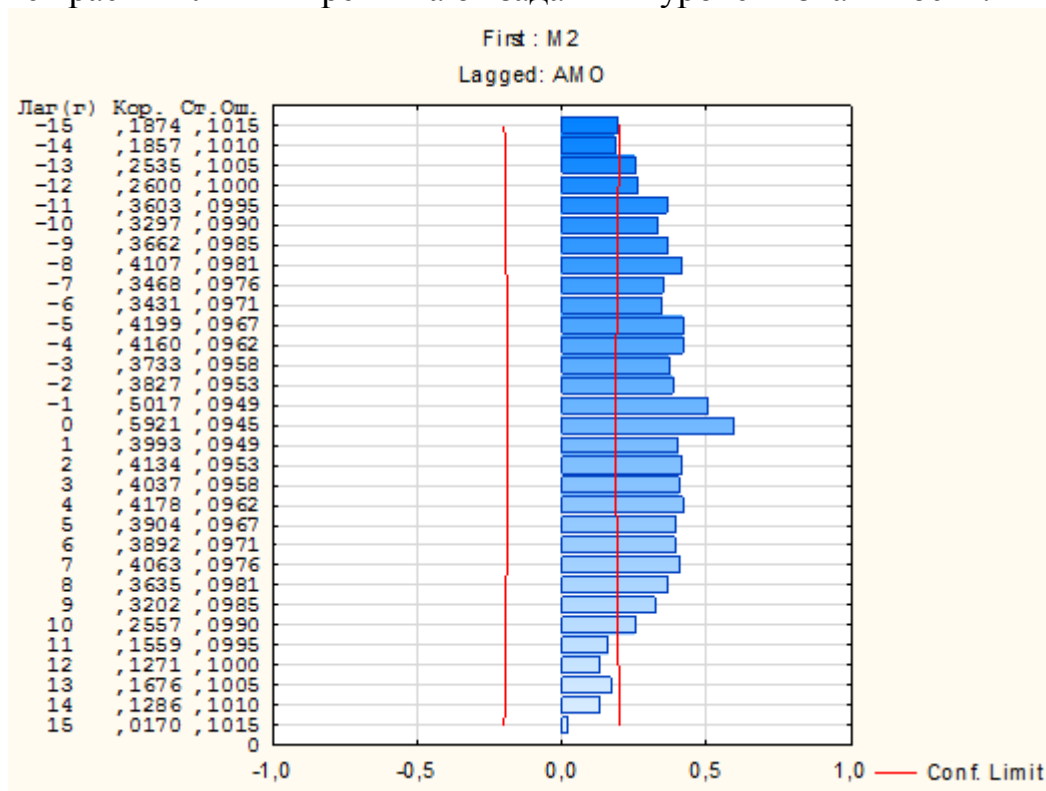


Рисунок 1 - Область значений функции корреляции

В таблице 1 приведены полученные коэффициенты кросс-корреляции с соответствующими им стандартными отклонениями, которые характеризуют доверительные интервалы для полученных значений

Таблица 1 - Коэффициенты кросскорреляции

Лег	Кросскорреляция	Стандартное отклонение
-15	0,187383	0,101535
-14	0,185680	0,101015
-13	0,253468	0,100504
-12	0,259959	0,100000
-11	0,360292	0,099504
-10	0,329737	0,099015
-9	0,366196	0,098533
-8	0,410690	0,098058

-7	0,346803	0,097590
-6	0,343139	0,097129
-5	0,419876	0,096674
-4	0,416003	0,096225
-3	0,373333	0,095783
-2	0,382715	0,095346
-1	0,501709	0,094916
0	0,592135	0,094491
1	0,399283	0,094916
2	0,413393	0,095346
3	0,403727	0,095783
4	0,417819	0,096225
5	0,390441	0,096674
6	0,389192	0,097129
7	0,406301	0,097590
8	0,363543	0,098058
9	0,320213	0,098533
10	0,255733	0,099015
11	0,155944	0,099504
12	0,127057	0,100000
13	0,167631	0,100504
14	0,128551	0,101015
15	0,017019	0,101535

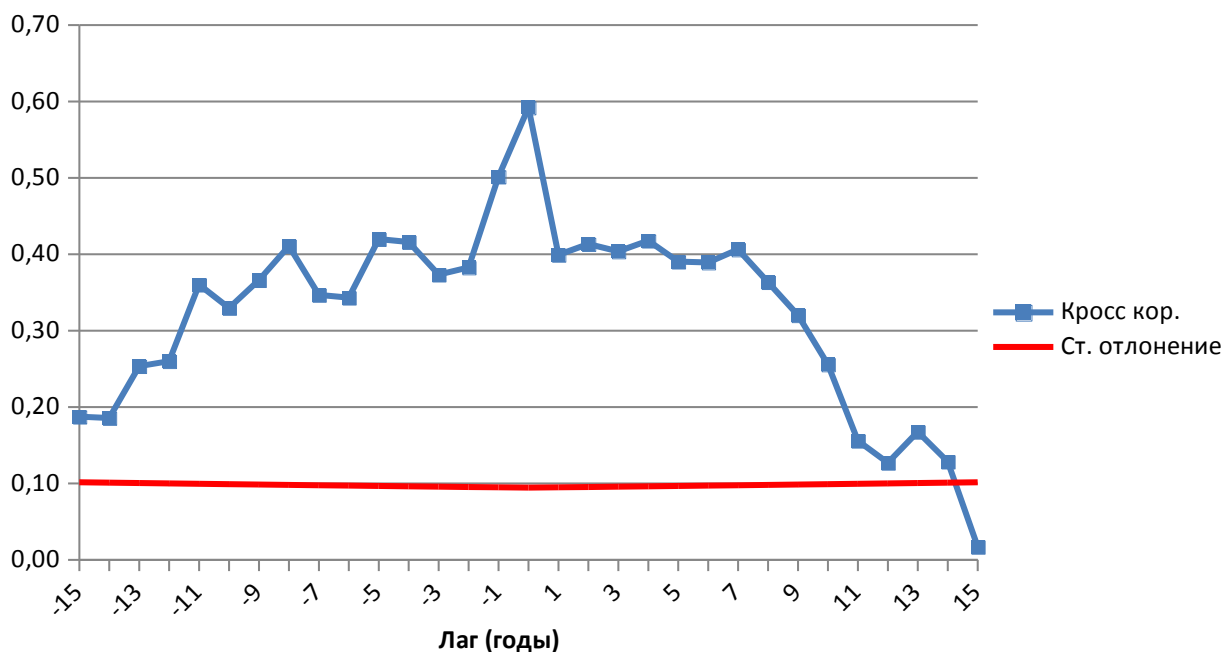


Рисунок 2 - График кросс-корреляции мод для Северной Атлантики

Из графика (Рис. 2), построенного по полученным коэффициентам кросскорреляции, видно, что связь повторяется с частотой в 10 лет. Следовательно, эта связь носит фундаментальный характер и мода М2 статистически верна, для Северной Атлантики, из чего можно сделать вывод о влиянии медленных колебаний АМО на сложные физико-химические процессы в Европе и европейской части России.

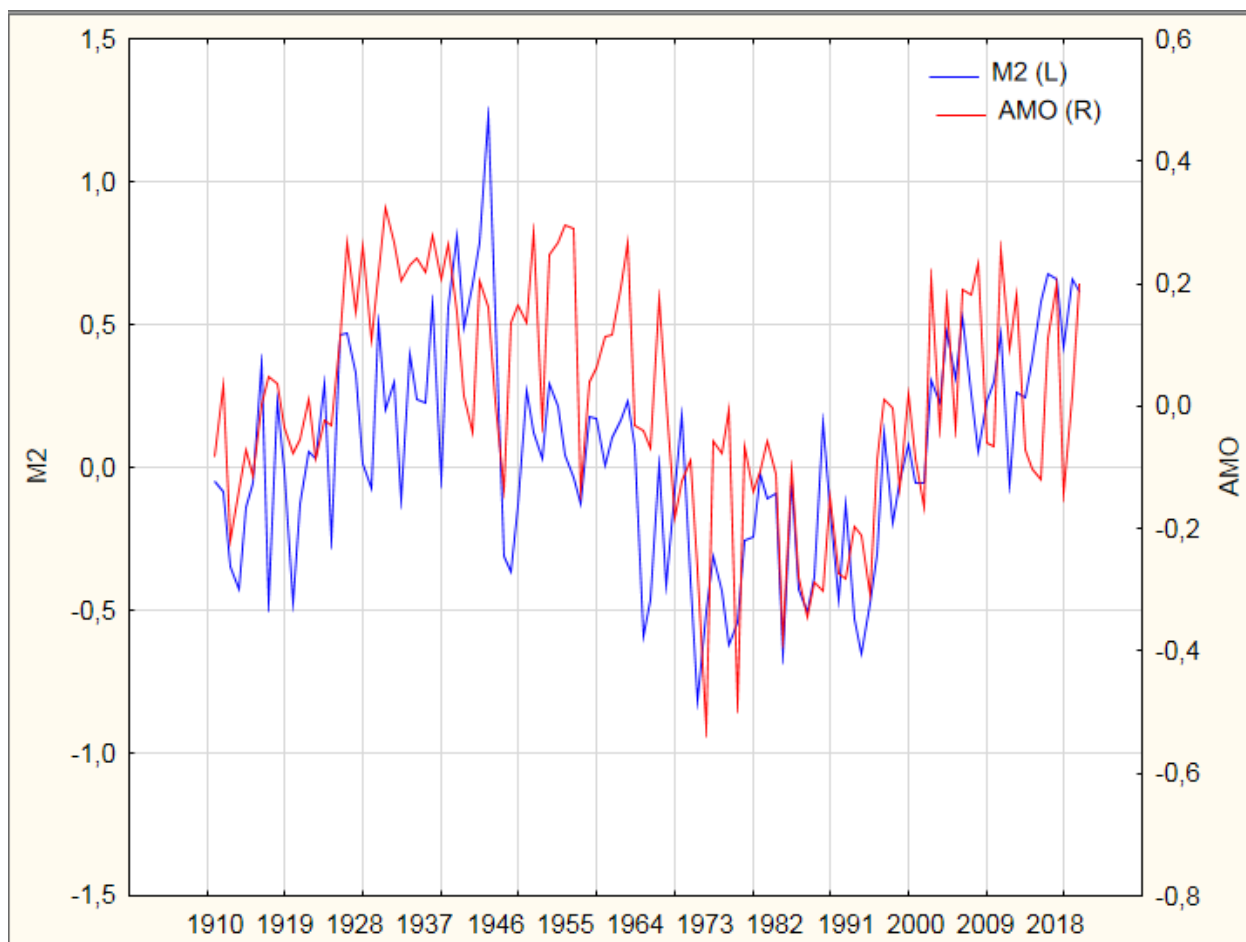


Рисунок 3 - Когерентность временных рядов климатических индексов АМО и М2

Из рисунка 3 видно что индекс М2 хорошо коррелирует с АМО ($r=0.85$). Индекс М2 сильно многодекаден, в нем преобладают вариации, превышающие 30 лет. Он изменил знак в середине 1920-х, начале 1960-х и середине 1990-х годов.

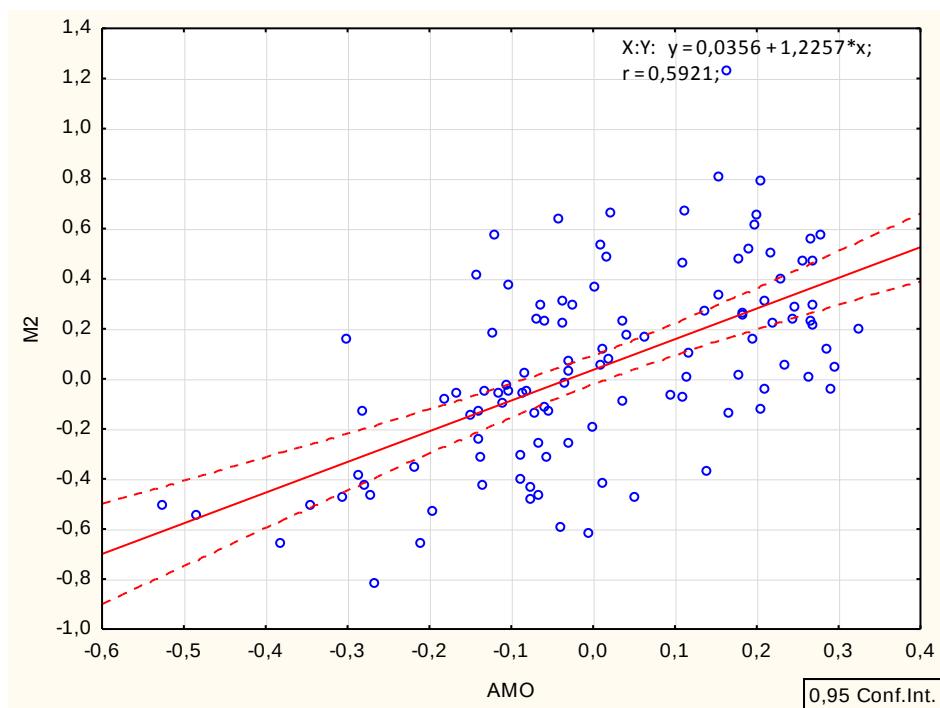


Рисунок 4 - Диаграмма регрессии: АМО на М2 (статистическая значимость 0,05)

Диаграмма регрессии на рисунке 4 показывает, что большая часть точек для полученных значений имеют малое среднеквадратичное отклонение (СКО) и располагаются недалеко от линии регрессии. Это подтверждает существенную связь между М2 и АМО.

Подводя итоги можно заключить что выявлены значительные статические связи между индексами М2 и АМО, максимальный коэффициент корреляции между этими двумя индексами достигает 85%. Эта связь носит фундаментальный характер и повторяется с частотой примерно в 10 лет.

Заключение

Полученные результаты показывают фундаментальную роль колебаний ТПО в Северной Атлантике не только для изучения изменений глобального климата, но также определяют вполне прикладную цель — повышения эффективности долгосрочного прогноза погоды на территории Европы и для восточного побережья Северной Америки.

Список использованной литературы

1. Alexander M. A.: The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air–sea interaction over the global oceans / Alexander, M. A., I. Bladé, M. Newman, J. R. Lanzante, N. C. Lau, and J. D. Scott // *Climate*. – 2002. – No. 15. – Pp. 2205–2231.
2. Barnett T.P.: Origins of the midlatitude Pacific decadal variability / Barnett, T. P., D. W. Pierce, R. Saravanan, N. Schneider, D. Dommenget, and M. Latif // *Geophys*. – 1999. – No. 26. – Pp. 1453–1456.

3. Deser C. Sea surface temperature variability: Patterns and mechanisms / Deser, C., M. A. Alexander, S. P. Xie, and A. S. Phillips // *Annual Review of Marine Science*. – 2010. – Vol. 2 – Pp. 115–143.
4. Kug J.-S. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño / Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An. // *Climate*. – 2009. – No. 22. – Pp. 1499–1515.
5. Messia M.: Global modes of sea surface temperature variability in relation to regional climate indices / Messia, M. and F.P. Chavez // *Journal of Climate*. – 2011. – No. 24 – Pp. 4313–4330. – DOI:10.1175/2011JCLI3941.1
6. Покровский О.М. Изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // *Исследование Земли из космоса*. – 2005. – № 4. – С. 24–34.
7. Свешников А.А., Прикладные методы теории случайных функций / М.: Наука, – 1968. – 463 с.

РАСЧЁТ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ПОШАГОВО ПОСРЕДСТВОМ СУБД И ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМОЙ GNU OCTAVE

Честнов Арсений Ильич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Акилов Евгений Вячеславович

*ФГБУ «Государственный гидрологический институт»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье представлен способ пошагового расчёта среднеквадратичного отклонения с использованием системы управления базами данных. Помимо пошагового способа, представлен способ написания программы для этих целей в языке программирования GNU Octave.

Ключевые слова: среднеквадратичное отклонение, СУБД, GNU Octave.

CALCULATION OF THE MEAN SQUARE DEVIATION STEP BY STEP USING THE DBMS AND THE GNU OCTAVE SOFTWARE SYSTEM

Chestnov Arsenii Ilich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Akilov Evgeni Vacheslavovich

*State Hydrological Institute
St. Petersburg, Russia*

Annotation. The article presents a method for step-by-step calculation of the standard deviation using a database management system. In addition to the step-by-step method, a way of writing a program for these purposes in the GNU Octave programming language is presented.

Keywords: mean square deviation, DBMS, GNU Octave.

Среднеквадратичное отклонение, активно используемая в статистических методах и в исследованиях операций, является показателем рассеиванием значений величин. Оно измеряется в единицах измерения тех величин, для которых оно находится. Крайне актуально для работы с большим количеством данных и для анализа изменчивости, крайне необходимо в океанологии, в метеорологии и в любой другой сфере изучения. Определяется

как квадратный корень из дисперсии случайной величины $\sigma = \sqrt{D[X]}$

Где σ – среднеквадратичное отклонение. D – дисперсия. $[X]$ – величина [1].

Непосредственно пошагово можно расписать нахождение среднеквадратичного отклонения в системе управления базами данных, в таком как Microsoft Excel.

Для примера расчёта взята таблица значений солёности поверхностного слоя морской воды на океанологической станции острова Диксон в августе 1995 года.

день	Солёность ‰
1	1.17
2	1.19
3	1.13
4	0.96
5	1.5
6	1.58
7	1.44
8	1.27
9	1.27
10	1.27
11	1.6
12	1.68
13	1.94
14	2.09
15	2.55
16	2.1
17	3.29
18	3.56
19	3.22
20	3.32
21	3.58
22	3.56
23	3.58
24	3.56
25	3.58
26	3.37
27	3.68
28	3.3
29	3.03
30	3.17
31	3.14

Таблица 1 - Солёность поверхностного слоя в августе

Солёность морской воды измеряется в промилле. Данный параметр является одним из самых изменчивых среди других океанографических параметров, поскольку зависит от огромного числа факторов таких как: опреснение атмосферными осадками, опреснение реками, опреснение материковым стоком, испарение морской воды, опреснение таянием льдов и разрушение припая [2]. Для анализа изменчивости морской воды, помимо оценки факторов, повлиявших на неё, необходимо определить

среднеквадратичное отклонение, являющуюся видом статистической погрешности, чтобы учитывать значимость изменения параметра перед тем как давать оценку и находить причину изменения.

Для нахождения значения среднеквадратичного отклонения, необходимо выполнить определённую последовательность действий в СУБД.

Первый шаг – нахождение среднего арифметического значения всей таблицы.

Это происходит по формуле $\bar{a} = \frac{\sum a_1...a_i}{n}$

Конкретно для данной таблицы оно равно 2.44129.

Второй шаг – вычесть из каждого значения таблицы среднее значение всей таблицы и возвести в квадрат.

день	сол ‰	
1	1.17	$= (R5 - \$R\$37)^2$
2	1.19	

Рисунок 1 - Формула в СУБД для второго шага

С помощью оператора \$ мы закрепим ячейку, чтобы она не меняла положения. Для нахождения значений формулы достаточно протянуть формулу вниз до конца таблицы.

Третий шаг – найти среднее арифметическое значение для полученных значений по формуле, приведённой в первом шаге и извлечь из него квадратный корень.

Конкретно для взятой таблицы значение получилось 0.981696169. Это значит, что изменением солёности меньше чем на данную величину можно пренебречь ввиду незначительности на фоне общей изменчивости.

Сохранив данный шаблон, можно находить значение среднеквадратичного отклонения для других таблиц с идентичным количеством значений за одно действие. Достаточно передвинуть рамку с выделенным столбцом в другую таблицу, и заложенные формулы, благодаря закреплённой ячейке автоматически посчитают значения по заданным формулам.

16	0.26	0	16	2.1	0	16	2.1	0.116479084
17	1.5	0	17	3.29	0	17	3.29	0.720308117
18	1.98	0	18	3.56	0	18	3.56	1.251511342
19	3.11	0	19	3.22	9.398	19	3.22	0.606388762
20	3.11	0	20	3.32	8.128	20	3.32	0.772130697
21	3.06	0.254	21	3.58	0.762	21	3.58	1.296659729
22	2.34	0	22	3.56	1.27	22	3.56	1.251511342
23	2.14	1.524	23	3.58	2.032	23	3.58	1.296659729
24	2.24	0	24	3.56	4.826	24	3.56	1.251511342
25	1.54	0	25	3.58	7.874	25	3.58	1.296659729
26	1.68	0	26	3.37	3.302	26	3.37	0.862501665
27	1.59	0	27	3.68	0	27	3.68	1.534401665
28	1.2	0.762	28	3.3	0	28	3.3	0.73738231
29	1.09	1.778	29	3.03	0	29	3.03	0.346579084
30	1.11	4.826	30	3.17	0	30	3.17	0.531017794
31	1.12	0.762	31	3.14	0	31	3.14	0.488195213
								0.963727367
			откл	0.981696				=СРЗНАЧ(H5:H35)

Рисунок 2 - Перевод выделения в другую таблицу

20	3.11	0		20	3.32	8.128			20	3.32	4.132695525
21	3.06	0.254		21	3.58	0.762			21	3.58	5.257405203
22	2.34	0		22	3.56	1.27			22	3.56	5.166089074
23	2.14	1.524		23	3.58	2.032			23	3.58	5.257405203
24	2.24	0		24	3.56	4.826			24	3.56	5.166089074
25	1.54	0		25	3.58	7.874			25	3.58	5.257405203
26	1.68	0		26	3.37	3.302			26	3.37	4.338485848
27	1.59	0		27	3.68	0			27	3.68	5.725985848
28	1.2	0.762		28	3.3	0			28	3.3	4.051779396
29	1.09	1.778		29	3.03	0			29	3.03	3.037711655
30	1.11	4.826		30	3.17	0			30	3.17	3.545324558
31	1.12	0.762		31	3.14	0			31	3.14	3.433250364
											2.295890114
				откл	0.981696					1.287097	1.515219494

Рисунок 3 - Автоматическая замена

Тем самым, получился аналог макроса, но ручным способом. Подобный подход может использоваться в педагогике для обучения студентов. Описание шагов для нахождения среднеквадратичного отклонения является своеобразной инструкцией, которую можно внедрять, используя подход Петра Яковлевича Гальперина, созданной им теорией планомерно-поэтапного формирования умственных действий и понятий [3]. Это позволит обучаемым сформировать полезный навык с пониманием того, каким образом происходит расчёт.

Помимо расчёта данного значения в СУБД, его можно выполнить с помощью языка программирования. Крайне удобным для этой задачи языком является GNU Octave, разработку которого начали в 1988 году и выпущенной версией 1.0 в 1994 году. В 2021 году, последняя версия Octave является 6.4.0 [4].

Ключевым фактором для выбора Octave является его бесплатное распространение, удобство написания кода и его распознавание объектов. Для Octave все числа являются матрицами, будь то последовательность чисел, или же единичное число. В случае с единичным числом, Octave рассматривает его как единичную матрицу[5].

```

1 clear
2 clc
3 disp('raschet otkloneniya')
4 disp('')
5
6 n=input('vvedite kolychestvo');
7
8 for i=1:n
9     A(i)=input('vvedite chislo stroky');
10 end
11
12 B=sqrt(var(A,1));
13 B
14 disp('otvet')
15

```

Рисунок 4 - Код программы в окне редактора

Командой disp осуществляется вывод на экран содержимого в скобках, которое нужно написать в одинарных кавычках. Для того, чтобы программа не рассматривала сразу же единичную матрицу, необходимо создать цикл, с

помощью команды `for` и выйти из него с помощью `end`. Для корректной работы цикла, необходимо ввести количество элементов в столбце, затем каждый элемент по отдельности, после этого, программа рассчитает среднеквадратичное и выведет ответ. К сожалению, Octave абсолютно не воспринимает кириллицу, поэтому поясняющие надписи и комментарии необходимо писать латиницей приблизительной транслитерацией.

raschet otkloneniya		
	6	1.44
vvedite kolychestvo5	7	0.04
vvedite chislo stroky6	3	17.64
vvedite chislo stroky7	9	3.24
vvedite chislo stroky3	11	14.44
vvedite chislo stroky9		7.36
vvedite chislo stroky11		
B = 2.7129	7.2	2.712931993
otvet		
>>		

Рисунок 5 - Пример работы программы

Результат расчёта совпадает с ручным. Как видно, ответы даны в разных форматах чисел, Octave предусматривает множество различных форматов записи чисел. Для автоматического вывода форматов, написана ещё одна программа

```

1 disp('dlya preobrasovaniya')
2 disp('')
3 n=input ('vvedite chislo');
4 format short
5 n
6 disp ('korotkoe')
7 format long
8 n
9 disp ('dlinnoe')
10 format free
11 n
12 disp('bes formata')
13 format compact
14 n
15 disp('<6 pisiziy')|

```

Рисунок 6 - Код программы

Совместив данный код с программой для нахождения среднеквадратичного отклонения, можно получить ответы в разных форматах.

```

>> Formats
dlya preobrasovaniya

vvedite chislo pi
n = 3.1416
korotkoe
n = 3.141592653589793
dlinnoe
n = 3.14159
bes formata
n = 3.14159
<6 pisiziy
>> |

```

Рисунок 7 - Работа программы с числом π

Данные методы являются одним из множества различных способов прикладного решения задач, однако, дают полное представление о том, как находить значения, являясь, тем самым, хорошим и наглядным учебным пособием, возможным для внедрения в образовательные программы.

Платформа https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/ была использована в качестве инструмента научной коммуникации при проведении исследований.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2020-0009.

Список использованной литературы

1. Ивченко Г. И., Медведев Ю. И. Введение в математическую статистику. — М.: Издательство ЛКИ, — 2010. — §2.2. Выборочные моменты: точная и асимптотическая теория. — ISBN 978-5-382-01013-7.
2. Физическая география материков и океанов / Под общ. ред. Рябчикова А.М. — М.: Высшая школа, — 1988. — С. 540—546.
3. Гальперин П. Я. Лекции по психологии / Под ред. и с предисл. Подольского А.И. — М., — 2002.
4. Электронный ресурс <https://www.gnu.org/software/octave/about.html> // интернет ресурс, официальный сайт GNU, раздел история программы (дата обращения 25.03.2022).
5. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Введение в Octave для инженеров и математиков/ Библиотека ALT Linux Москва ALT Linux, — 2012.

МОРСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК [528.7:004.9]:[551.468+551.50+551.582](985)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРКТИКЕ

*Абрамов Валерий Михайлович, Голосовская Вера Алексеевна,
Санина Юлия Павловна, Честнов Арсений Ильич,
Баринова Ксения Алексеевна, Босавин Илья Николаевич,
Простакевич Константин Сергеевич,
Саватеев Никита Николаевич,
Абрамова Александра Леонидовна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований по геоинформационному обеспечению изучения гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике в условиях изменения климата.

Ключевые слова: цифровизация, геоинформационное обеспечение, гидрометеорологические процессы, Арктика, изменение климата.

GEOINFORMATION SUPPORT DIGITALIZATION FOR HYDROMETEOROLOGICAL AND OCEANOGRAPHIC PROCESSES RESEARCH IN ARCTIC

*Abramov Valery Mikhailovich, Golosovskaya Vera Alexeyevna,
Sanina Yulia Pavlovna, Chestnov Arsenii Ilich,
Barinova Ksenia Alexeyevna, Bosavin Ilya Nikolayevich,
Prostakevich Konstantin Sergeyevich,
Savateev Nikita Nikolayevich,
Abramova Alexandra Leonidovna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. Considered studies results on geoinformation support to hydrometeorological and oceanographic processes researches in the Arctic under climate change.

Keywords: digitalization, geoinformation support, hydrometeorological processes, Arctic, climate change.

Геоинформационное обеспечение морехозяйственной деятельности в различных регионах, в том числе и в Арктике и Субарктике, является быстроразвивающейся научно-практической областью деятельности в рамках глобальной экономики [1-3]. В этой деятельности значительное внимание уделяется управлению природными рисками, включая климатические риски [4, 5], к которым относится и черный углерод [6, 7]. Областью исследования является совершенствование морехозяйственной деятельности в Арктике и Субарктике с учетом изменений климата, проявляющихся преимущественно в изменчивости основных гидрометеорологических и океанографических процессов в регионе, в том числе и в виде изменчивости ледовых явлений. Целью исследований является совершенствование методических основ геоинформационного обеспечения изучения гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике для решения задач повышения эффективности и надежности морехозяйственной деятельности в Арктике в условиях изменения климата.

При выполнении исследований в качестве методической основы использованы Форсайт-технологии, методы конструирования систем управления базами данных, а также распределённые открытые базы гидрометеорологических и океанографических данных, базы логистических данных.

Перейдем к рассмотрению результатов исследований. Выполненный анализ состояния области исследования показал, что основным направлением совершенствования методических основ геоинформационного обеспечения изучения гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике в условиях изменения климата является цифровизация комплексного ретроспективного анализа данных о морехозяйственной деятельности в арктических и субарктических регионах в сочетании с данными об основных гидрометеорологических и океанографических полях в Арктике сосредоточенных в открытых распределенных базах данных (ОРБД), относящихся к категории очень больших по информативной емкости. Для повышения эффективности работы в указанном направлении в качестве перспективных инструментов авторами предлагаются к использованию агрегативно-модульные экспертные системы (АМЭС) [8] на основе различных геоинформационных открытых платформ (ГИОП), например, Earth, LandViewer, MarineTraffic, VesselFinder [1, 2, 8] и другие. В результате использования сконструированных авторами различных АМЭС выявлены закономерности географического распределения возрастного состава льдов в Баренцевом море, выявлены и идентифицированы в геоинформационном аспекте источники поступления черного углерода к ледовым образованиям в Арктике от лесных пожаров в Якутии и сжигания попутного газа на арктических нефтегазовых месторождениях, предложены методы учета влияния морских льдов на морехозяйственную деятельность в Арктике с использованием данных различных космических миссий, в первую очередь Сентинел-1 и Сентинел-2, на основе мультиспектральной космической съемки с

высокой разрешающей способностью, предложен метод определения геоинформационной идентификации границ остаточных льдов в Арктике на начало осенне-зимнего периода в заданный год, определена граница остаточных льдов на начало осенне-зимнего периода в 2021 году. Подробное изложение перечисленных результатов исследований не входит в задачи данной публикации.

Указанные выше результаты исследований обладают значительной научной новизной, использованы в составе научных отчетов в рамках исследований РГГМУ по государственному заданию, а также при написании четырех магистерских диссертаций по направлению 05.04.05 «Прикладная гидрометеорология» в 2021/2022 учебном году. Разработанные в ходе исследований методические рекомендации по совершенствованию основ геоинформационного обеспечения изучения гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике в условиях изменения климата могут быть использованы в различных научных областях и образовательных направлениях, в том числе в рамках гармонизированных магистерских программ [9]. Полученные в ходе исследований результаты в области изучения закономерностей изменчивости гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике имеют важное практическое значение, в том числе и для вопросов страхования природных рисков [10] при осуществлении морехозяйственной деятельности в Арктике, например, в пределах Северного морского пути [11] и в морских портах [12].

В ходе исследований в качестве коммуникационного инструмента использован ресурс https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/.

Исследования реализованы в РГГМУ в ходе выполнения проекта № FSZU-2020-0009 по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список использованной литературы

1. Abramov V., Averkiev A., Korinets E., Bolshakov V., Vekshina T. Digitalization of geo-information support for energy logistics in climate change / Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – V. 246.– Pp. 600-608.
2. Иванова Е.В., Горчакова Э.Р., Павлова Е.А., Абрамов В.М., Зацепилов В.В. Инновационные направления социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации // Финансовый бизнес. – 2021.– № 6 (216). – С. 34-39.
3. Istomin E.P., Abramov V.M., Lepeshkin O.M., Baikov E.A., Bidenko S.I. Web-based tools for natural risk management while large environmental projects / 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. ENVIRONMENTAL ECONOMICS. Sophia, – 2019. – Pp. 953-960.
4. Карлин Л.Н., Абрамов В.М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. – СПб.: РГГМУ, 2013. – 332 с.- DOI: 10.13140/2.1.1978.8482

5. Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Касимов Н.Н., Моргунов Б.А. Технологическая платформа "Green Technologies" в аспекте международного сотрудничества на современном этапе изменения глобализации / Дайджест мировой политики XXI века: ежегодный обзор. Том 6, глава: Энергетика и экология в региональном измерении, – 2013. Рр.135-144. - DOI: 10.13140/2.1.3551.7123
6. Абрамова А.Л., Простакевич К.С., Честнов А.И., Абрамов В.М., Санина Ю.П., Шабанова В.А. Черный углерод как область исследований в рамках Арктического совета / в книге: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2020. – С. 576-577.
7. Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Popov N.N., Isaev A.V., Berboushi S.V. Method of assessment for black carbon random fields within Russia for climate risk management in the Arctic / 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Sofia, – 2015. – Pp. 953-960.
8. Abramov V.M., et al. (2021) Digital transformation of expert systems design within geoinformation management in Arctic // J. Phys.: Conf. Ser., 2001 012014 DOI <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2001/1/012014>
9. Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Скобликова А.Л. Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма, Ученые записки РГГМУ, – 2006,– вып. 3, – С. 172-183.
10. Абрамов В.М., Голосовский П.А., Абрамова А.Л., Простакевич К.С. Информационные технологии страхования природных рисков в условиях изменения климата / в сборнике: СТРАХОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ФИНАНСОВЫХ УСЛУГ В РОССИИ: МЕСТО, ПРОБЛЕМЫ, ТРАНСФОРМАЦИЯ. Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции: в 2 томах. – 2017.– С. 193-195.
11. Abramov V.M., Popov N, Shilin M (2021) Geo-information Support Tools for Natural Risks Management within Northern Sea Route // Transportation Research Procedia, Volume 54, 2021, Pp. 144-149. DOI <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.058>
12. Abramov V.M., et al. (2021) Digital tools for seaports geo-information support while climate change and Covid-19 pandemic // E3S Web Conf. Volume 258, 02020. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125802020>

ТЕНДЕНЦИИ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДОХОДСТВА И ФАКТОРЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

Березкин Александр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются факторы и тенденции, показывающие современные развитие безэкипажного судоходства, отечественные модели.

Ключевые слова: тенденции, развитие, перспективы.

TRENDS OF NON-CARGO SHIPPING AND FACTORS OF ITS DEVELOPMENT

Berezkin Alexander Alekseevich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article examines the factors and trends showing the modern development of unmanned shipping, domestic models.

Keywords: trends, development, prospects.

«Тенденции безэкипажного судоходства и факторы его развития»

При проектировании и строительстве безэкипажных судов в условиях текущей международной напряженности и наложенных на нашу страну санкций, запрещающих импорт приборов, ребром стоит вопрос оптимального выбора навигационного оборудования, а именно датчиков и компасов входящих в комплекс каналов управления, которые могли бы с необходимой точностью и надежностью определять позицию судна, а также характеристики судового хода. Цикл эксплуатации безэкипажного судна должен включать в себя как маневрирование в акватории порта, и в трафике прилегающих к порту районов активной навигации, а также непосредственно в открытом море. Для каждого из вышеуказанных этапов необходимо использование не только своих отдельных настроек, но и зачастую оборудования. Так в акватории порта и припортовых районах активной навигации рационально использование сочетания различных комплексов компасов, это, во-первых, спутниковые системы, использующие «ГЛОНАСС», во-вторых волоконно-оптические навигационные приборы функционал которых позволяет использовать данное оборудование в качестве инерциальной системы для вычисления нахождения объекта в пространстве, и характеристик его движения.

В данный момент в качестве поставщиков навигационного оборудования на рынке представлены спутниковые устройства навигации как иностранных, так и отечественных производителей, однако в данной работе будут рассмотрены характеристики только отечественных разработок. Функциональное назначение данных моделей позволяет автоматизировано определять в текущий момент времени положение судна в пространстве, его скорость, наличие препятствий в виде судов и природных объектов, курс судна, его пространственные углы и погодную обстановку за бортом. Все это необходимо для надлежащего, полного и своевременного уведомления судоводителя о изменении вышеуказанных параметров и надвигающихся угрозах.

В следствии этого возникает необходимость создания, и развития уже существующих отдельных спецификаций приборов что в свою очередь повышает цену на данный штучный товар.

Однако в виду так называемого двойного назначения навигационных приборов, и отказа от поставок оборудования иностранными поставщиками необходимо продолжения развития и исследования данной отрасли приборостроения ввиду отсутствия иных альтернатив у нашей страны. Что в свою очередь выдвигает особые требования отечественным поставщикам навигационным приборам и увеличения нагрузки на систему «ГЛОНАСС» что в свою очередь может замедлить скорость отклика оборудования и приема сигнала.

Наибольший интерес представляют отечественные модели для потребителей: «Бриз-КМ-РНК» а также «СН-5703». Данные модели работают с «ГЛОНАСС» а также совместимы с угломерными устройствами конструкторского бюро «НАВИС».

Вышеупомянутая российская система «БРИЗ-КМ-РНК» разработанная и производимая в уже обозначенном конструкторском бюро «НАВИС». Функционал данного оборудования позволяет:

- Отображать текущее местоположение судна в пространстве и выражать его на карте
- Отображать время нахождения корабля по точкам
- Отображать Динамику путевой скорости
- Отображать текущие углы пространственной ориентации

Процессы вывода данных происходят в реальном времени с использованием информации космических навигационных систем и дополняющих их средств. Обмен информации происходит в любой точке мира и по любым координатам, вне зависимости от метеорологической обстановки в которой находится судно. Данные выводиться на устройства индикации с использованием стандартного интерфейса для любого внешнего потребителя, имеющего на это право, а также для решения проблем и задач необходимых для сервиса и обслуживания как оборудования, так и судна.

«Бриз-КМ-РНК» может решать разнообразные задачи возникающие в процессе судоходства в северных широтах:

- Отображение и выработка углов ориентации базируется на принципе мультиантенного фазового интерферометра. В комплектацию оборудования включено 3, а в некоторых случаях 4 спутниковые антенны, которые могут быть случайно размещены на судне с учетом его конструктивных особенностей или по-другому называемая «свободная база». Антенны снабжены защитными отражателями, подавляющими негативное влияние переотраженных сигналов на точность решения;

- Выбор сотрудником-оператором и отображение следующих режимов работы: абсолютные определения по сигналам НКА КНС ГЛОНАСС, GPS, ГЛОНАСС/GPS, дифференциальный режим с учетом поправок от широкозонных дифференциальных систем (SBAS), дифференциальный режим с учетом корректирующей информации МДПС, дифференциальный режим с учетом поправок от широкозонных дифференциальных систем (SBAS) и корректирующей информации МДПС.

Таблица 1.1 - Характеристики приборов

Параметр	НАП СН-5703 ЗАО «КБ НАВИС»	НАП «Бриз-КМ-РНК» ЗАО «КБ НАВИС»
Страна-производитель	Россия	Россия
Внешний вид		
Габаритные размеры, мм	455 x 79 x 52	270 x 255 x 150 (только БНУ)
Масса, кг	1,37 (только БУ для 00 исп.) 1,20 (только БУ для 01 исполнения)	7 (только БНУ)
Питание, В	1) БАк 2) 12, 24, 27	1) 198-242 (перемен.), 2) 27±2.7 (постоян)
Время работы от Бак, ч	2	-
Потребляемая мощность, Вт	4	100

Параметр	НАП СН-5703 ЗАО «КБ НАВИС»	НАП «Бриз-КМ-РНК» ЗАО «КБ НАВИС»
Диапазон рабочей температуры, °С	от минус 40 до плюс 55	от минус 10 до плюс 55
Параметр	НАП СН-5703 ЗАО «КБ НАВИС»	НАП «Бриз-КМ-РНК» ЗАО «КБ НАВИС»
Количество каналов приема спутников	32х2	24х3
Работа по радиосигналам НКА в диапазонах	- L1 ГЛОНАСС СТ - L1 GPS C/A - L1 SBAS	- L1/L2 ГЛОНАСС СТ и ВТ - L1 GPS C/A - L1 SBAS
Интерфейсы	1) Цифровой интерфейс RS232 2) Монохромный графический дисплей на БИУ 3) Кнопочная клавиатура на БИУ	1) ВЧ-вход внешних антенн 1) Цифровой интерфейс RS232х4 2) Цифровой интерфейс RS-422/485х10 3) Монохромный графический дисплей на БИУ 4) Кнопочная клавиатура на БИУ
Логические интерфейсы	1) NMEA-0183 2) NMEA-2000 3) BINR (НАВИС)	1) NMEA -0183 2) BINR (НАВИС) 3) RTCM SC-104
Параметр	НАП СН-5703 ЗАО «КБ НАВИС»	НАП «Бриз-КМ-РНК» ЗАО «КБ НАВИС»
Среднеквадратичное отклонение измерений	- координат в плане: - в автономном режиме – 3 м - в дифференциальном режиме	- координат местоположения – 7 м; - высоты – 10 м; - скорости – 0.05 м/с. - углов – 0.1°

Параметр	НАП СН-5703 ЗАО «КБ НАВИС»	НАП «Бриз-КМ-РНК» ЗАО «КБ НАВИС»
	использованием SBAS – 2.4 м - высоты – 3.6 м - скорости – 0,06 м/с - истинного курса – 0,9° - угла места в динамике – 2° - угла места в статике – 0,1°	
Время получения первого отсчета	- «холодный» старт – 35 секунд	- «теплый старт» (основной режим) - 180 с
навигационных определений	- «горячий» старт – 5 секунд	- «холодный старт» (первое включение) - 300 с

Вывод

Развитие беспилотных технологий очень важная ступень в современной науке. Во-первых, это экономически выгодно, нужно меньше производить ресурсов для эксплуатации таких судов, меньше использования человеческих ресурсов. Во-вторых, точная система навигации и оценка возможных опасностей для судна в разы уменьшит аварийные ситуации на море. В-третьих, в будущем большинство судов перейдут на беспилотные технологии и риск человеческого фактора будет минимален.

Список использованной литературы

1. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном. — Л.: Судостроение, – 1983. – 272 с.
2. Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем. — СПб.: Научное издательство и комплекс цифровой печати «Профессионал», – 2005. – 560 с.
3. Снопков В.И. Управление судном. — СПб.: Научное издательство и комплекс цифровой печати «Профессионал», – 2004. – 536 с.
4. Борисова А.Ю., Смаль А.В. Анализ разработок современных бесплатформенных инерциальных навигационных систем // Инженерный вестник. – 2017. – № 5. – С. 50-57.
5. ГОСТ 29205-91 Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, – 1993. – 8 с.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПЛАВАНИИ В АРКТИЧЕСКИХ ВОДАХ

Канарёв Игорь Павлович

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Целью данной статьи является анализ радионавигационных средств, применяемых на судах, совершающих плавание в арктической зоне.

Ключевые слова: радиолокационная станция, средства автоматической радиолокационной прокладки, автоматическая идентификационная система, радиопеленгаторы.

ANALYSIS OF ELECTRIC NAVIGATION AIDS USED FOR NAVIGATION IN ARCTIC WATERS

Kanarev Igor Pavlovich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The purpose of this article is to analyze the radio navigation means used on ships sailing in the Arctic zone.

Keywords: radar station, means of automatic radar laying, automatic identification system, direction finders.

Введение

С каждым годом интерес к Арктике повышается все больше. Отправляются новые экспедиции, проводятся исследования. Для обеспечения безопасности судоходства применяются все более совершенные системы радионавигации, уже существующие системы подвергаются модификации.

Целью данной работы является проанализировать радиолокационные средства судовождения, которые активно применяются в данный момент.

Общие сведения об электронавигационных системах

Сперва, необходимо дать определение электронавигационным средствам.

Электронавигационные средства (приборы)-совокупность аппаратуры, которая предназначена для определения направления, скорости, пройденного пути. Эти приборы, согласно своему назначению, разделяются на три группы:

1. Приборы для определения направления в море. Они используют свойства гироскопа (гироскомпасы, гироазимуты). Сюда же входят автоматические устройства, которые обеспечивают современное судовождение (автоматические счислители, прокладчики).

2. Вторая группа — это приборы, позволяющие измерять глубину и обнаруживать подводные препятствия. Данная группа базируется на свойствах акустических колебаний при распространении в воде отражаться от объектов (эхолоты).

3. Приборы для измерения скорости и пройденного пути, например лаги, которые в свою очередь делятся на гидродинамические, инерционные, вертушечные.

Кроме этого, для решения навигационных задач, таких как: определение местоположения судна, обеспечение безопасного плавания около берега, распознавания других судов используются радионавигационные средства. Под радионавигационной системой понимают комплекс синхронизированных наземных или космических излучателей и бортовых приемников, которые могут размещаться как на самом судне, так и вне его. Все РНС имеют зону действия, в пределах которой могут снабжать судно навигационной информацией с допустимой погрешностью. С помощью радиоволн всю аппаратуру, часть которой находится на самом судне, а часть на опорных наземных радионавигационных точках, связывают в единую систему.

Радиопеленгаторы. «Румб»

Первым радиотехническим средством для определения местоположения судна был радиопеленгатор. С его помощью определяют направление на радиомаяк, который установлен на берегу, и начинающий работать в определенное время. После чего азбукой Морзе передает свой позывной и непрерывный звук для возможности пеленгации судна. Но не следует забывать, что на точность радиопеленгования оказывает влияние множество внешних факторов. Один из них — это электромагнитное поле судна, которое создает радиодевиацию. Также негативное влияние оказывает так называемый ночной эффект- поверхностные и отраженные от ионосферы радиоволны. Существующие способы борьбы с этими негативными влияниями не позволяют полностью их устранить. Остаточные погрешности определяются специальными наблюдениями и учитываются при прокладке радиопеленгов на карте. Радиопеленгаторы- самые распространенные средства из-за своей простоты использования и обслуживания, а также из-за их относительной дешевизны.

Наиболее совершенным радиопеленгатором является двухканальный визуальный радиопеленгатор с электронно-лучевым индикатором.

В качестве примера рассмотрим двухканальный визуальный радиопеленгатор типа «Румб». Данный радиопеленгатор имеет следующие характеристики:

1. Тип принимаемого сигнала- немодулированные колебания А1А.
2. Сигналы с амплитудной модуляцией тоном низкой частоты А2А.
3. Сигналы с амплитудной модуляцией звуковыми колебаниями А3А.
4. Диапазон частот для первого канала составляет 250-545 кГц. Для второго- 1600-3250 кГц.

5. Избирательность- по зеркальному каналу не менее 60 дБ. По каналам промежуточных частот не менее 80 дБ.

6. Мощность, потребляемая от сети переменного тока, не более 150 В*А.

«Румб» выпускается в различных комплектациях в зависимости от типов рамочных антенн, от рода судовой электросети и т.д. В комплект входят: приемоиндексаторный блок, блок питания, блок рамочных антенн, ненаправленная антенна типа «наклонный луч», а также антенный усилитель и сигнальный щиток.

Судовые радиолокационные станции

Из наиболее часто используемых средств радиотехники судоводители используют радиолокационные станции (РЛС). Судовая радиолокационная станция- установленная на корабле или судне РЛС, предназначенная для обнаружения и наблюдения за другими судами, льдами и прочими объектами в море, которые могут представлять интерес для судоводителя. Также РЛС может измерять пеленги, расстояния и курсовые углы, и применяется для определения судна относительно системы координат.

Судовая РЛС представляет собой импульсные радиотехнические средства, которые используют зависимости между временем распространения сигнала и навигационными параметрами.

РЛС состоит из сканирующей антенны и монитора, визуализирующего информацию. РЛС базируется на принципе отражения радиоволн от объектов, расположенных на пути их распространения. Таким образом в радиолокации используется принцип эха. Принцип работы РЛС, следующий: передатчик периодически излучает высокочастотные колебания, которые посылаются в пространство узким лучом, который непрерывно вращается в горизонтальной плоскости. После чего, отраженные от любой поверхности электромагнитные колебания (запаздывающие на время $t = 2D/c$, где D-расстояние до объекта, а c- скорость распространения радиоволн) в виде эхо-сигнала поступают на приемник и изображаются на радаре. Ориентировочное значение радиолокационной дальности обнаружения объектов при нормальном состоянии атмосферы (давление 760 мм, температура воздуха 15°C, относительная влажность 60%, температурный градиент 0,0065с/м) определяется по формуле (1):

$$D_{po} = 2,39(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_0}) \quad (1)$$

где h_a - высота антенны над уровнем моря;

h_0 - высота отражающей части объекта над уровнем моря.

Как правило, радар с приемопередатчиком устанавливают на судовой мачте. К этому оборудованию предъявляются повышенные требования к устойчивости к осадкам и ветру, а также к повышенной прочности. Для крупных судов использование РЛС регламентировано специальными нормами. Например, на суда больше трех тонн устанавливают две РЛС, которые сочетают X- и S-диапазоны.

Следует отметить, что при использовании РЛС стоит учитывать метеорологические условия. Например, при сильных осадках (ливень, град,

сильный снегопад и т.д.) дальность обнаружения объектов уменьшается на 30-50%, а наличие качки уменьшает точность измерений. При таких условиях наблюдения следует вести при длине волны 10см. Кроме этого, на наблюдения влияет волнение моря, которое образует засветку центральной части РЛС отражениями от волн.

Автоматическая идентификационная система

Автоматическая идентификационная система- судоходная система, применяемая для опознавания судов, габаритов, а также их курса. При включенном АИС судно также видно на мониторах других судов, находящихся по близости. Данная система должна быть включена постоянно, только капитан может отдать приказ на его отключение. Согласно Конвенции SOLAS 74/88 АИС является обязательно системой для судов с водоизмещением больше 300 регистровых тонн, совершающих международные рейсы, для судов водоизмещением 500 регистровых тонн, не совершающих международные рейсы, а также для всех пассажирских судов.

АИС разделяются на подвижные (мобильные) и стационарные. К подвижным станциям относятся:

1. Воздушные станции на поисково-спасательных судах.
2. Станции, установленные на навигационных объектах.
3. Портативные станции, которые используют лоцманы на борту судна.
4. Судовые станции класса А.
5. Судовые станции класса В.

К стационарным станциям относятся базовые и репитерные станции.

АИС класса А, в соответствии с требованиями SOLAS должны устанавливаться на всех конвенционных судах. Требования этой конвенции были описаны выше. Станции класса В устанавливаются на прогулочных яхтах, рыболовецких судах. АИС, установленные на навигационных объектах, выполняют роль радиомаяка.

АИС состоит из основного блока и пульта управления и визуального отображения. Основной блок обеспечивает все функции АИС и способен работать без пульта управления. Пульт управления нужен для взаимодействия с оператором. От основного блока на пульт передаются команды управления, после чего передает обратно блоку команды ручного ввода.

Рассмотрим устройство основного блока АИС класса А. Он состоит из:

1. Двух приемников AIS-1 и AIS-2, которые оснащены декодерами TDMA с возможностью переключаться на региональные каналы;
2. Передатчика, переключаемого на каналы AIS-1 и AIS-2 и региональные каналы;
3. Приемника и декодера ЦИВ;
4. Приемника глобальной спутниковой навигации. Для российских судов ГЛОНАСС является обязательным, а GPS может использоваться только как вспомогательный;
5. Кодеров сигналов ЦИВ и TDMA;
6. Контроллера на основе микропроцессора, управляющего работой всей

аппаратуры;

7. Устройства интегрального контроля работоспособности.

Принцип действия основан на приеме и передаче сообщений в УКВ-диапазоне. Передатчик работает на более длинных волнах, чем радары. Это позволяет производить обмен информацией на местности, имеющей препятствия в виде небольших объектов, а не только на прямых расстояниях. Для избегания проблем интерференции и не нарушать коммуникацию других объектов, АИС передают и получают информацию не по одному, а по двум радиоканалам.

Сообщения, передаваемые и получаемые АИС, могут содержать следующую информацию:

1. Идентификационную информацию о различных объектах.

2. Информацию о состоянии объекта, получаемую автоматически с элементов управления объектом.

3. Информацию о географических и временных координатах, получаемую АИС от глобальной навигационной спутниковой системы.

Системы автоматической радиолокационной прокладки

Средства автоматической радиолокационной прокладки-радиолокационные информационно-вычислительные комплексы, предназначенные для автоматической радиолокационной информации, а также от информации, поступающей от лага и гирокомпаса.

Работая с САРП, судоводители не занимаются ручным съемом радиолокационных пеленгов и дистанций до цели, графической прокладкой этих данных на радиолокационном планшете. Все эти операции выполняются автоматически.

Любые САПР выполняют те же функции по отображению информации, что и РЛС, но в тоже время имеют ряд функциональных возможностей, позволяющих выполнять следующие операции:

1. Автоматическое обнаружение эхо-сигналов надводных целей.

2. Ручной и автоматический захват целей на сопровождение.

3. Обнаружение маневра цели.

4. Звуковая и световая сигнализация о появлении новых и опасных целей.

Почти в каждой САПР состоят из датчиков информации, роль которых выполняют РЛС, лаги и гирокомпас. От РЛС поступают данные о текущем значении курсового угла антенны, видеосигналы об окружающей обстановке. От лагов и гирокомпасов поступает информация о скорости и курсе судна.

В режиме автоматической радиолокационной прокладки РЛС выполняет свои обычные функции, и одновременно с этим основным датчиком информации об обстановке.

В функции САПР входят:

1. Автоматический и ручной захват обнаруженных целей и их сопровождение.

2. Обнаружение эхо-сигнала надводных целей в пределах контролируемой зоны на экране САРП.

3. Индикацию на буквенно-цифровом табло основных параметров движения и элементов сближения цели.

4. Автоматическое счисление пути судна и определение суммарного сноса.

5. Проигрывание маневра курсом и скоростью для безопасного расхождения.

В настоящее время САРП классифицируют по методу накопления информации, по методу отображения первичной и вторичной информации и по принципу применения и использования. Рассмотрим каждую классификацию в отдельности.

САРП, основанные на методе накопления информации, включает системы, которые путем запоминания и отображения предыдущей информации, выводят на экран траекторию прошлого движения цели (накопителем информации может служить бесконечная петля магнитной ленты или экран, покрытый люминофором с длительным послесвечением), а также системы с предоставлением прогнозируемой к определенному моменту времени информации о положении цели. Из этих двух систем наибольшее распространение получили системы с прогнозированием информации.

По методу отображения первичной и вторичной информации САПР включает в себя:

1. Системы, совмещающие отображение первичной и вторичной информации на экранах индикаторов кругового обзора (ИКО). Данные системы получили широкое распространение из-за возможности наблюдать на одном дисплее как первичную, так и выработанную цифровой вычислительной машиной (ЦВМ) вторичную информацию. Но при использовании данных систем возникают трудности точного совмещения первичной и вторичной информации.

2. Системы с раздельным представлением информации. При использовании этих систем становится невозможно осуществлять непрерывное наблюдение, так как первичная и вторичная информация отображены на разных экранах. Кроме этого, возникают проблемы при идентификации целей и их вторичной информации.

По принципу применения и использования САРП бывают автономными и составной частью системы комплексной автоматизации судовождения. Автономные САРП изготавливают в двух вариантах- автоматизированная РЛС или как отдельный автоматизированный радиолокационный индикатор, способный сопрягаться с судовыми РЛС.

В настоящее время существует множество технических реализаций САРП, но большинство устройств выполняет общие функции.

Почти все средства автоматической радиолокационной прокладки состоят из датчиков информации, сопрягающих устройств и устройств обработки и отображения. Рассмотрим каждый элемент по отдельности.

Датчиками информации выступают судовые РЛС (как правило, одно-или двухдиапазонные), лаги и гирокомпас. РЛС предназначена для передачи видеосигнала об окружающей обстановке, значение курсового угла антенны и импульса синхронизации. В режиме автоматической радиолокационной прокладки РЛС является основным датчиком информации о наблюдаемой обстановке. А от лага и гирокомпаса поступает информация о скорости и курсе собственного судна.

Данные о скорости и о курсе судна, поступающие от лага и гирокомпаса, после преобразования используют как для формирования вектора собственной скорости судна, так и для вычисления навигационных параметров наблюдаемой цели.

Если поступление информации от датчиков идет в аналоговой форме, то для того, чтобы ввести ее в цифровой процессор или вычислительную машину применяют сопрягающие устройства. Они преобразуют данные в дискретную форму, и вводят данные в цифровой процессор.

К сопрягающим устройствам относятся преобразователь курсового угла антенны, необходимый для преобразования углового положения антенны в последовательность импульсов или кодовую последовательность, и квантователь, который предназначен для квантования видеосигналов по амплитуде и по времени.

Теперь рассмотрим устройства обработки и отображения информации. К ним относятся:

1. Информационно-вычислительный канал. Он предназначен для приема, обработки, вычисления и хранения информации для дальнейшей выдачи ее в устройство отображения. Кроме этого, ИВК включает в себя ЭВМ или цифровой процессор, устройство связи с другими каналами, устройство кодирования.

2. Канал синхронизации. Он предназначен для синхронизации всех каналов системы. Сигналы синхронизатора обеспечивают согласованную работу процессоров, обработку и отображение информации. Работой ИВК и других каналов управляют тактовые и управляющие импульсы канала синхронизации.

3. Канал видеосигнала формирует видеосигнал, смешивающийся с дополнительными импульсами и служебными метками, после чего подается на монитор для отображения.

4. Устройства, предназначенные для отображения первично и вторичной информации состоят из канала разверток, канала управления контролем и идентификации, монитора и цифрового табло. На цифровом табло отображается первичная информация, канал разверток формирует напряжение для отображения первичной, вторичной и цифровой информации. Канал управления, контроля и идентификации служит для формирования сигналов управления работой системы и идентификации положения органов управления, сигналов контроля, формирования команд управления.

Почти во всех САРП на мониторе отображение первичной и вторичной информации совмещено.

Вывод

В данной статье были рассмотрены средства электронавигации. Разумеется, это лишь малая часть средств, позволяющих наблюдать за навигационной обстановкой.

Несмотря на совершенство навигационных приборов, не стоит забывать, что решение принимает судоводитель. Не одна, даже самая современная навигационная станция, не способна заменить человека. От грамотных действий экипажа зависит сохранность как судна, так и жизнь и здоровье этого экипажа.

Список использованной литературы

1. Байрашевский А.М., Жерлаков А.В., Ильин А.А. Судовая радиоэлектроника и радиолокация. Москва, «Транспорт», – 1988. – 271 с.
2. Судовая радиолокация. Судовые радиолокационные системы и САРП: учебник для вузов. Изд. 2-е, переработанное и исправленное/ Дуров А. А., Кан В. С., Ничипоренко Н. Т., Устинов Ю. Петропавловск-Камчатский, КамчатГТУ, – 2005. – 280 с.
3. Замятин А.Г. Особенности использования судовой радиолокационной станции для обеспечения безопасности судоходства применительно к внутренним водным путям/ под ред. А.Г. Замятина [и др.]. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, – 2009. – 76 с.
4. Турбаков А.А. Электрооборудование судов / под ред. Турбакова А.А., Трошанова Н.А. Москва: Транспорт, – 1973.

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ В КАНАЛАХ И УЗКОСТЯХ

Канарёв Игорь Павлович

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Целью данной статьи является расчет времени, необходимого для расхождения судов в канале и расчет маневра обгона.

Ключевые слова: маневр расхождения, маневр обгона, критическая скорость, эксплуатационная скорость.

CALCULATION OF THE TIME REQUIRED FOR VESSELS TO DIVERGE IN CHANNELS AND NARROWNESSES

Kanarev Igor Pavlovich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The purpose of this article is to calculate the time required for vessels to diverge in the channel and calculate the overtaking maneuver.

Keywords: divergence maneuver, overtaking maneuver, critical speed, operational speed.

Введение

Маневр расхождения при плавании в каналах отличается от такого же маневра в открытом море из-за ограниченного пространства. Требуется учитывать и особенности воздействия гидравлических сил, действующих на суда при плавании в каналах и узкостях. Все эти факторы должны быть учтены судоводителем при совершении маневров.

Расчет времени расхождения двух судов

Расхождение судов производится в соответствии с правилами плавания по внутренним водам Российской Федерации. Согласно статье 136, два судна идущие навстречу должны изменить курс следования таким образом, чтобы разойтись левыми бортами.

При следовании судна по оси канала, гидростатическое давление на правый и левый борт равны $P_{п.б} = P_{л.б}$. Равны и скорости потока, обтекающего корпус судна $V_{2п.б} = V_{2л.б}$. Следуя правилам, суда должны отклониться вправо, на сколько это возможно. Маневр расхождения выполняется на малых скоростях, так как чем меньше скорость судна, тем сильнее оно может отклониться от оси канала. При отклонении судна от оси канала меняется гидростатическое давление и скорость обтекания $P_{п.б} > P_{л.б}$ и $V_{2п.б} > V_{2л.б}$.

Появляется гидравлический момент, который стремится направить судно вдоль оси канала. При сильном отклонении может возникнуть ситуация, когда гидростатическое давление и скорость обтекания на правый борт будут больше, чем на левый. В данном случае, судно перестанет слушаться руля и развернется поперек судового хода из-за так называемого гидравлического прыжка.

При сближении носовой части обоих судов, между боковыми частями образуется зона повышенного давления. Она зависит как от расстояния между судами, так и от расстояния между откосами канала. Если суда сильно приблизятся к откосам канала, то нос каждого из судов будет отклоняться от откосов в сторону оси канала из-за разностей уровня воды и гидростатического давления. При сближении судов друг к другу, нос каждого судна будет отклоняться в сторону откоса канала.

Предположим, что два одинаковых судна идут на встречу друг другу. Длина и скорость этих судов равны $L_1 = L_2 = 145$ метров, $V_1 = 17$ км/ч = 4,72 м/с., $V_2 = 15$ км/ч = 4,17 м/с. Для нахождения времени, которое потребуется для расхождения судов, сперва, находится скорость малого хода $V_{м.х} = 50\%$ от V :

$$V_{1м.х} = 4,72 * 0,5 = 2,36 \text{ м/с} \quad (1)$$

Аналогично находим $V_{2м.х}$:

$$V_{2м.х} = 4,17 * 0,5 = 2,085 \text{ м/с} \quad (2)$$

Время на расхождение находится по формуле:

$$t = \frac{L_1 + L_2}{V_{1м.х} + V_{2м.х}} \quad (3)$$

Подставляем в (3) данные, получаем:

$$\frac{145 + 145}{2,36 + 2,085} = 65,24 \text{ сек} = 1,1 \text{ мин}$$

Расчет маневра обгона

При обгоне судоводитель обгоняющего судна выбирает расстояние для обгона соответственно габаритам собственного и габаритам обгоняемого судна. Стоит помнить, что при сильном приближении к откосу канала, судно потеряет управление и гидравлическим прыжком будет развернуто поперек судового хода.

Когда носовая часть обгоняющего судна поравняется с кормовой частью обгоняемого судна, гидростатический момент, который действует на обгоняемое судно, будет стремиться отбросить его корму на откос канала. Во избежание этого, судоводитель обгоняемого судна должен переложить руль вправо.

Скорость судов выбирается от общей критической скорости движения по каналу. Она определяется по формуле (4):

$$v_k = \sqrt{6 \cos \frac{\pi + \varphi}{3} - 2(1 - k)} \sqrt{g \frac{\Omega}{B}} \quad (4)$$

где Ω - площадь живого сечения канала;

B - ширина канала по зеркалу воды;

k - коэффициент стеснения живого сечения канала.

Коэффициент φ находится по формуле (5):

$$\varphi = \arccos(1 - k) \quad (5)$$

Для определения критической скорости необходимо найти общий коэффициент стеснения:

$$k_{\text{общ}} = \frac{\otimes_1 + \otimes_2}{\Omega} \quad (6)$$

где $\otimes_1$ -площадь мидель-шпангоута обгоняемого судна;

$\otimes_2$ -площадь мидель-шпангоута обгоняющего судна.

Площадь мидель-шпангоута судна равна произведению ширины к осадке судна и к коэффициенту полноты мидель-шпангоута:

$$\otimes = \beta B T \quad (7)$$

где β -коэффициент полноты мидель-шпангоута; B -ширина судна; T -осадка судна.

Для примера возьмем судна с длиной 145 м, коэффициент полноты мидель-шпангоута равный 0,95, отношение длины к ширине-8, ширины к осадке-4.

Для начала найдем ширину судов. Она равна отношению длины судна к отношению длины к ширине:

$$B = \frac{L}{8} = \frac{145}{8} = 18,125 \text{ м} \quad (8)$$

Осадка судна равна:

$$T = \frac{B}{4} = \frac{18,125}{4} = 4,53 \text{ м} \quad (9)$$

Теперь можно найти коэффициент полноты мидель-шпангоута. В (7) подставляем (8) и (9):

$$\otimes = 0,95 * 18,125 * 4,53 = 78 \text{ м}^2 \quad (10)$$

Найдя коэффициент полноты мидель-шпангоута, найдем общий коэффициент стеснения. Площадь живого сечения канала примем равной 350,95.

$$k_{\text{общ}} = \frac{78 + 78}{350,95} = 0,444 \quad (11)$$

Находим коэффициент φ :

$$\varphi = \arccos(1 - 0,444) = 56,22 \quad (12)$$

Теперь можно найти общую критическую скорость, принимая ширину канала по зеркалу воды равную 80,9:

$$v_k = 1,461 \text{ м/с} \quad (13)$$

Найдя общую критическую скорость, можно найти эксплуатационную скорость. Для избежания увеличения сопротивления она должна составлять не более 0,9 критической скорости, т.е. $v_3 \leq 0,9v_k$. Таким образом, $v_3 = 1,315 \text{ м/с}$.

В том случае, когда обгоняемое судно уменьшает свою скорость до самого малого хода, который составляет 25% от эксплуатационной скорости, время для обгона будет рассчитываться по формуле:

$$t = \frac{L_1 + L_2}{v_2 - v_1} \quad (14)$$

где L_1 и L_2 - длина судов;

v_1 и v_2 - скорости обгоняющего и обгоняемого судов.

Скорость малого хода обгоняемого судна будет равна:

$$v_{1\text{м.х}} = 0,25v_3 \quad (15)$$

$$v_{1\text{м.х}} = 0,25 * 1,315 = 0,329 \text{ м/с} \quad (16)$$

Скорость обгоняющего судна:

$$v_2 = v_3 - v_{1\text{м.х}} \quad (17)$$

$$v_2 = 1,315 - 0,329 = 0,986 \text{ м/с} \quad (18)$$

Теперь можно найти время обгона, подставив в полученные данные:

$$t = \frac{145 + 145}{0,986 - 0,329} = 444,4 \text{ сек} \approx 7,41 \text{ мин} \quad (19)$$

Вывод

В данной статье был произведен расчет времени, необходимого для маневра расхождения судов в канале, а также посчитана скорость судов при маневре.

Список использованной литературы

1. Ведомственные строительные нормы. Указания по проектированию судоходных каналов. Введ. с 01.01.1972. М., Гос. изд-во литературы по строит., архит. и строит. материалам, – 1972. – 39 с.
2. Правила технической эксплуатации речного транспорта РСФСР. М., "Речной транспорт", – 1961.
3. Правила плавания по внутренним водным путям Российской Федерации: Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от

19.01.2018 №19 (с изм. и доп. от 19 февраля 2019 г.)// Собр. законодательства РФ, – 2019.

4. Техническая инструкция по содержанию судоходной обстановки на внутренних водных путях. М., "Речной транспорт", – 1962.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СУДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО
ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЁМКЕ РЕЛЬЕФА ДНА В БАРЕНЦЕВОМ
МОРЕ**

Шабанов Александр Игоревич

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Построена математическая модель, на основе методов динамического программирования, по оптимальному распределению гидрографических научно-исследовательских судов по акватории Баренцева моря.

Ключевые слова: динамическое программирование, математическая модель, оптимальный наряд сил, гидрографические работа, съёмка рельефа дна.

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF
VESSELS BASED ON DYNAMIC PROGRAMMING METHODS FOR
CARRYING OUT WORK ON HYDROGRAPHIC SURVEY OF THE
BOTTOM RELIEF IN THE BARENTS SEA**

Shabanov Alexander Igorevich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. A mathematical model based on dynamic programming methods is constructed for the optimal distribution of hydrographic research vessels in the Barents Sea.

Keywords: dynamic programming, mathematical model, optimal outfit of forces, hydrographic work, bottom relief survey.

С каждым годом в исследование Арктического региона государствами вкладывается всё больше материальных ресурсов. Шельф богат множеством полезных ископаемых, но одновременно с тем при добыче, особенно нефти, связаны огромные экологические риски. Любую деятельность в Мировом океане невозможно представить без гидрографического обеспечения. Сюда входит и оценка перемещения загрязнений в море, поиск ресурсов на морском дне, проведение дноуглубительных работ, обеспечение безопасности морских путей и множество других работ [1].

При планирование гидрографических работ в обширной акватории (в нашем случае это Баренцево море) необходимо оптимально распределить суда по работам, какой объём работ они будут выполнять, чтобы добиться

оптимального результата с минимальными затратами. В качестве критерия решения задачи могут выступать издержки на эксплуатацию, расход топлива, время проведения работ. Так же, мы можем оптимально распределить выделенную нам сумму на проведения работ между судами, чтобы площадь обработанной территории была наибольшей. В нашем случае критерием решения задачи будет — стоимость эксплуатации судов.

Постановка задачи для нашего случае будет выглядеть следующим образом: В целях обеспечения морской деятельности в Арктическом бассейне (регион Баренцева моря) необходимо провести площадную съёмку рельефа дна в целях картографирования заданной области, площадь (S) которой составляет 40000 км². Для проведения гидрографических работ в указанном районе исследований выделено 4 гидрографических и малых гидрографических судна, различных проектов. Для обследования i -м судном с производительностью работ u_i района площадью s_i (в км²) стоимость эксплуатации составляет w_i условных единиц (в нашем случае стоимость эксплуатации будет считаться в миллионах рублей). Требуется определить какие суда из числа n выделенных следует назначить для производства работ в состав отряда из k ($k \leq n$) судов и найти распределение судов по районам акватории, при котором общая стоимость эксплуатации W всех судов будет наименьшей.

Математическая постановка задачи состоит в определении наименьшего значения целевой функции W :

$$W = \sum_{i=1}^n w_i(s_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^n s_i = S, \quad s_i \geq 0 (i = 1, n) \quad (2)$$

Нами сформулирована задача, которая является задачей нелинейного программирования. Если $w_i(s_i)$ являются выпуклыми функциями, то решение задачи может быть найдено методом множителей Лагранжа [3, 5]. А в том случае, когда функции $w_i(s_i)$ не являются выпуклыми, методы нелинейного программирования не позволяют определить глобальный максимум искомой функции [4]. Тогда решение задачи может быть найдено при помощи разобранного нами метода динамического программирования [6]. Чтобы это реализовать, необходимо рассмотреть исходную задачу как многошаговую (или многоэтапную) [2]. Мы не будем рассматривать возможные варианты распределения судов n между районами и оценивать их эффективность. Вместо этого исследуем целевую функцию одного судна, затем двух судов и так далее, пока не дойдем до n судов [6]. Следовательно, таким образом, нами будет получено n -ое число этапов, на каждом из которых состояние системы (в качестве которой выступают суда в районах) описывается площадями районов акватории, которая подлежит обследованию i судами ($i = 1, n$). Решения о величине площади района, в который назначается i -е судно ($i = 1, n$), являются управлениями. Задача состоит в выборе таких управлений, при которых функция принимает наименьшее значение.

Теперь перейдём к рассмотрению решения данной задачи в общем виде и введём необходимые обозначения. Предположим, что состояние системы,

которую мы рассматриваем, перед i -м шагом (где $i = 1, n$) определяется величиной площади $S - s_{i-1}$, которая осталась нераспределённой после шага $(i-1)$. При этом будем считать, что состояние, в которое переходит система на i -м шаге, зависит от состояния после $(i-1)$ -го шага $S - s_{i-1}$ и выбранного управления s_i на i -м шаге и не зависит от того, каким образом система пришла в состояние перед i -м шагом.

Во время реализации i -го шага будут затрачены определенные материальные издержки на эксплуатацию w_i , а при учёте предыдущих шагов стоимость эксплуатации будет составлять уже W_i также зависящий от исходного состояния системы после $(i-1)$ -го шага и выбранного управления на i -м шаге. В виде целевой функции (ЦФ) определяется общая стоимость эксплуатации судов за n шагов, который также является критерием эффективности решения задачи.

В результате, нами было сформулировано два обязательных условия, которым должна удовлетворять рассматриваемая задача распределения судов, когда она является задачей динамического программирования.

Чтобы решить задачу динамического программирования, которая была нами составлена, следует написать рекуррентное соотношение Беллмана [2]. Данное соотношение задаётся с помощью следующих функциональных уравнений:

$$W_1(S) = \min_{0 \leq s_1 \leq S} \{w_1(s_1)\}; \quad (3)$$

$$W_2(S) = \min_{0 \leq s_2 \leq S} \{w_2(s_2) + W_1(S - s_2)\}; \quad (4)$$

$$W_{n-1}(S) = \min_{0 \leq s_{n-1} \leq S} \{w_{n-1}(s_{n-1}) + W_{n-2}(S - s_{n-1})\}. \quad (5)$$

Где функции $W_i(S)$ $i = 1, n - 1$ определяют минимальные эксплуатационные издержки при соответствующих распределениях площади S акватории между i судами. Результат функции $w_n(s_n)$ вычисляется только для одного значения $s_n = S$, так как необходимо, чтобы площадь, выделяемых для всех n судов районов, была равна S .

Теперь перейдём непосредственно к решению составленной задачи. Исходные данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные стоимости эксплуатации и площадей

Площади районов s_i , км^2	Стоимость эксплуатации судна w_i (в млн. рублей) в зависимости от площади района			
	МГС «Вайгач»	ГС 862	МГС 16611	МГС «Виктор Фалеев»
0	0	0	0	0
8000	14,0	14,6	19,1	19,1
16000	30,1	29,3	38,2	41,0
24000	45,3	47,5	60,1	65,6

32000	64,5	62,1	80,2	87,5
40000	77,6	80,3	100,2	106,6

Определяем условно оптимальные площади района, которые выделяются для малого гидрографического судна (МГС) «Вайгач». Для этого задаем значения $s_1 = 0, 8000, 16000, 24000, 32000$ и 40000 и находим стоимость эксплуатации $w_1(s_1) = 0; 14,0; 30,1; 45,3; 64,5; 77,6$. Результат см. Таблица 2.

Таблица 2 - Условные оптимальные площади района s_1 и стоимость эксплуатации W_1 МГС «Вайгач» этап 4

	0	8000	16000	24000	32000	40000	W_1^*	s_1
0	0						0	0
8000		14,0					14,0	8000
16000			30,1				30,1	16000
24000				45,3			45,3	24000
32000					64,5		64,5	32000
40000						77,6	77,6	40000

На следующем шаге нам необходимо определить оптимальные площади районов, который будут выделяться для гидрографического судна проекта 862. Результат вычислений приведён в Таблице №3, где отображены оптимальные площади районов для обоих судов и их совместная эксплуатационная стоимость W_2 .

Сразу можем увидеть какое распределение двух судов будет оптимальным для минимальных денежных затрат на эксплуатацию при проведении работ. Гидрографическое судно проекта 862 проведёт работы в объёме $16\ 000\ \text{км}^2$, а малое гидрографическое судно «Вайгач» на оставшихся $24\ 000\ \text{км}^2$.

Таблица 3 - Условные оптимальные площади района s_2 ГС 862 и стоимость эксплуатации W_2 ГС 862 и МГС «Вайгач»

этап 3	0			8000			16000			24000			32000			40000			W2*	s2
	w2	W1	W2	w2	W1	W2	w2	W1	W2	w2	W1	W2	w2	W1	W2	w2	W1	W2		
0	0	0	0																0	0
8000	0	14,0	14,0	14,6	0	14,6													14,0	0
16000	0	30,1	30,1	14,6	14,0	28,6	29,3	0	29,3										28,6	8000
24000	0	45,3	45,3	14,6	30,1	44,7	29,3	14,0	43,3	47,5	0	47,5							43,3	16000
32000	0	64,5	64,5	14,6	45,3	59,9	29,3	30,1	59,4	47,5	14,0	61,5	62,1	0	62,1				59,4	16000
40000	0	77,6	77,6	14,6	64,5	78,6	29,3	45,3	74,6	47,5	30,1	77,6	62,1	14,0	76,1	80,3	0	80,3	74,6	16000

Аналогичное действие проводим уже с участием третьего, малого гидрографического, судна 16611-го проекта. В Таблице 4 приведены результаты вычислений стоимости эксплуатации судов и определения оптимальных площадей районов для исследований.

Таблица 4 - Условные оптимальные площади района s_3 МГС 16611 и стоимость эксплуатации W_3 трёх судов

Последние вычисления проводятся только для единственного значения,

этап 2	0			8000			16000			24000			32000			40000			W3*	S3
	W3	W2	W3	W3	W2	W3	W3	W2	W3	W3	W2	W3	W3	W2	W3	W3	W2	W3		
0	0	0	0																0	0
8000	0	14,0	14,0	19,1	0	19,1													14,0	0
16000	0	28,6	28,6	19,1	14,0	33,1	38,2	0	38,2										28,6	0
24000	0	43,3	43,3	19,1	28,6	47,7	38,2	14,0	52,2	60,1	0	60,1							43,3	0
32000	0	59,4	59,4	19,1	43,3	62,4	38,2	28,6	66,8	60,1	14,0	74,1	80,2	0	80,2				59,4	0
40000	0	74,6	74,6	19,1	59,4	78,5	38,2	43,3	81,5	60,1	28,6	88,7	80,2	14,0	94,2	100,2	0	100,2	74,6	0

когда $s_4 = 40000$, так как число судов равно четырём и последним судном, для которого предстоит сделать вычисления является малое гидрографическое судно «Виктор Фалеев». Данные о вычислениях приведены в Таблице 5.

Таблица 5 - Условные оптимальные площади района s_4 МГС «Виктор Фалеев» и стоимость эксплуатации W_4 четырёх судов

этап 1	0			8000			16000			24000			32000			40000			W^*	s_4
	w_4	W_3	W	w_4	W_3	W	w_4	W_3	W	w_4	W_3	W	w_4	W_3	W	w_4	W_3	W		
40000	0	74,6	74,6	19,1	59,4	78,5	41,0	43,3	84,3	65,6	28,6	94,2	87,5	14,0	101,5	106,6	0	106,6	74,6	0

В итоге, общая минимальная сумма эксплуатации отобранных судов для проведения гидрографических работ на всём участке составляет 74,6 миллионов рублей. Такие расходы достигаются, если гидрографическое судно проекта 862 будет выполнять работы в районе, площадь которого составляет 16 000 км², а малое гидрографическое судно «Вайгач» проводит комплекса работ по гидрографической съёмке рельефа дна на площади 24 000 км². Малые гидрографические суда проекта 16611 и «Виктор Фалеев» участие в проведении работ не принимают.

Таким образом, нами получен оптимальный план распределения судов по районам акватории Баренцева моря, при котором общая стоимость эксплуатации будет минимальной.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 23634-83. Морская навигация и морская гидрография. Термины и определения.
2. Bellman, R.E. Dynamic Programming / R.E. Bellman. – Princeton, N.J. Princeton University Press, – 1957.
3. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. – Пер. с англ. В. Я. Алтаева. под ред. И. А. Ушакова.– М.: Мир, – 1971.– 551 с.
4. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах.– М.: Высшая школа, – 1986.– 319 с.
5. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, – 2006.– 584 с.
6. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций – Operations Research: An Introduction. – М.: Вильямс, – 2007.– 912 с.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

УДК [502.175:539.16]:[528.7:004.9](470.23-25)

АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЕГО СВЯЗЬ С ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Вьюгина Екатерина Ильинична, Яковлева Татьяна Юрьевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен радиационного мониторинга в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, проводимый в автоматическом режиме.

Ключевые слова: мониторинг, радиация, геоинформационные технологии.

ANALYSIS OF THE MONITORING OF THE RADIATION SITUATION IN ST. PETERSBURG AND ITS CONNECTION WITH INFORMATION GEOTECHNOLOGIES

Vyugina Ekaterina Ilyinichna, Yakovleva Tatiana Yurievna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The article considers radiation monitoring in St. Petersburg and the Leningrad region, conducted in automatic mode.

Keywords: monitoring, radiation, geoinformation technologies.

В Санкт-Петербурге и Ленинградской области находятся в большом количестве радиационно-опасные объекты, которые нуждаются в постоянном мониторинге радиационной обстановки на их территории. В Ленинградской области это такие объекты, как ЛАЭС, Ленспецкомбинат «Радон», НИТИ им. Александрова (Сосновый Бор), ПИЯФ им. Константинова (Гатчина), Могильник радиоактивных отходов (Кузьмолово), а в Санкт-Петербурге – это Институт Иоффе, Радиевый институт им. Хлопина, ЦНИИ им. Крылова, Балтийский завод, ФГУП РНЦ "Прикладная химия", ЗАО «Центротех-СПб», ОАО «СПб «ИЗОТОП»», ФГУП «Научно-технический центр «Ядерно-физические исследования»».

Для получения актуальной информации о радиационной обстановке на территории Санкт-Петербурга создана Автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО). АСКРО СПб состоит из 16 стационарных постов контроля (Рисунок 1), которые в автоматическом режиме в реальном масштабе времени отслеживают радиационный фон на территории города (в существующей

системе АСКРО за порог срабатывания принята величина мощности дозы внешнего облучения в 60 мкР/ч) [1]. С момента создания в 1995 году и по настоящее время система прошла несколько этапов развития как аппаратных, так и программных средств.

Во всех 18 административных районах Санкт-Петербурга на автоматических станциях мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности (АСМ-АВ Комитета) установлены приборы автоматизированной системы контроля радиационной обстановки. Данные радиационного мониторинга публикуются на Экологическом портале Санкт-Петербурга. Информация о контроле радиационной обстановки в Санкт-Петербурге на 25 постах представлена на портале с 2020 года. Приводятся ежедневно среднее значение мощности дозы внешнего облучения в мкЗв/ч и максимальное разовое значение мощности дозы внешнего облучения за сутки в мкЗв/ч [2].

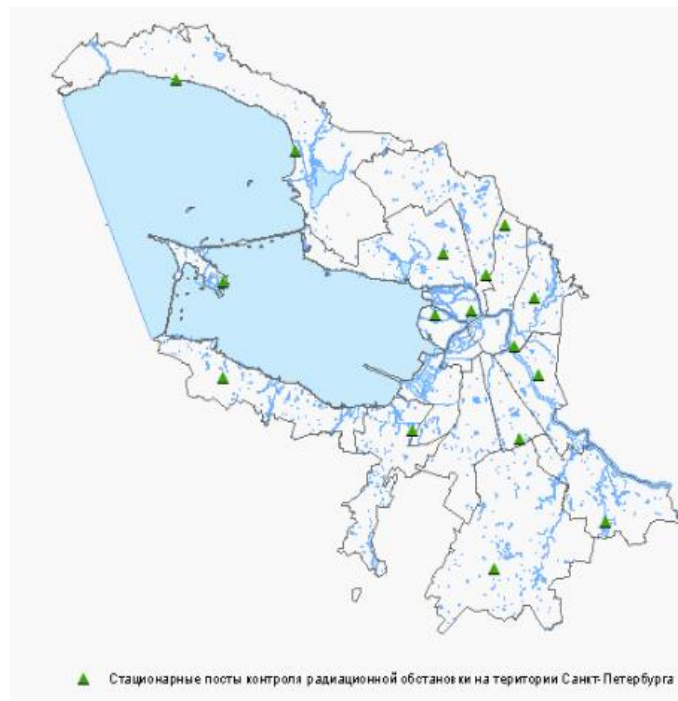


Рисунок 1 - Стационарные посты контроля радиационной обстановки в Санкт-Петербурге [1]

Радиационно-экологический мониторинг потенциально-опасных объектов позволяет проводить наблюдения и измерения радиационных характеристик проб исследуемых компонентов окружающей среды. Использование данных мониторинга позволяет выявлять закономерности изменения радиационной обстановки, которые помогают принимать решения в различных радиационных ситуациях, являются основой для составления заключения о дозовых нагрузках населения и разработки радиационно-гигиенического паспорта [3].

В настоящий момент развитие геоинформационных систем позволяет все в больших масштабах проводить радиационно-экологический мониторинг, получать данные практически в режиме реального времени. Организации,

объединенные под эгидой государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» [4] активно участвуют в использовании геоинформационных систем.

Радиационная обстановка на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области разнообразна, существуют проблемы в радоном, вносит вклад в радиоактивное загрязнение техногенный стронций ^{90}Sr [5]. На рисунке 2 приведены данные о радиационном фоне в Европейской части РФ 3 апреля 2022 г.

Проводимый мониторинг позволяет сделать вывод, что в настоящее время содержание техногенных радионуклидов в Ленинградской области вокруг ЛАЭС и в Санкт-Петербурге вокруг других объектов окружающей среды практически не превышает фоновых значений. Но с учётом потенциальной радиационной опасности ЛАЭС и других объектов мониторинг радиационной обстановки необходимо продолжать. Информация о радиоактивности окружающей среды передается в Единый государственный фонд данных и для публикации в [6]. Результаты мониторинга компонентов окружающей среды передаются в административные структуры, компетентные в принятии управленческих решений по защите населения.

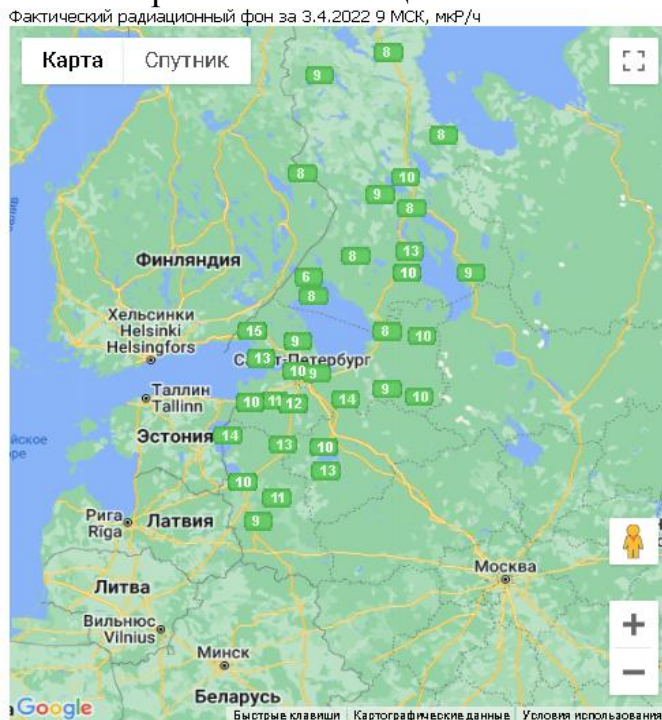


Рисунок 2 - Фактический радиационный фон в Европейской части РФ
03.04.2022 г.

Список использованной литературы

1. Сайт администрации Санкт-Петербурга.
https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/maps/rad_mon/
2. Экологический портал Санкт-Петербурга.
<http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> , <http://www.infoeco.ru/index.php?id=15303>
3. ФГУП «РАДОН» <https://www.radon.ru/online-map/>
https://www.radon.ru/line_activity/monitoring-obsledovanie-i-kontrol/radiatsionno-ekologicheskii-monitoring-obektov-okruzhayushchey-sredy/

4. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
<https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/ves-spektr-radiatsionnykh-tehnologiy/>.

5. Яковлева Т.Ю., Бобровский А.П., Дьяченко Н.В. и др. Радиационная обстановка на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции ИНФОГЕО 2018 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий», СПб: РГГМУ, –2018, – Т.1 – С. 300-305.

6. Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году». Обнинск, – 2021, – 330 с.

https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2020.pdf

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ

Киселева Елизавета Максимовна

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Проведено дешифрирование космических снимков спутника Landsat-7 на основе вычисления многоспектральных индексов. Определены диапазоны значений шести индексов для водных объектов, выполнено сравнение результатов выделения береговой линии, определены площади водоемов.

Ключевые слова: индекс, спутник, водоемы, спектральные каналы, Landsat-7.

USE OF INDICES FOR DETECTING WATER OBJECTS ON MULTI- SPECTRAL SATELLITE

Kiseleva Elizaveta Maksimovna

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The interpretation of space images of the Landsat-7 satellite was carried out based on the calculation of multispectral indices. The ranges of values of six indices for water bodies were determined, the results of coastline selection were compared, and the areas of reservoirs were determined.

Keywords: index, satellite, reservoirs, spectral channels, Landsat-7.

Введение

Развитие технологий дистанционного зондирования позволяет проводить регулярные многоспектральные измерения земной поверхности [1, 2]. Различают несколько видов систем мониторинга, они зависят от прогресса в таких областях, как:

- спутниковые системы ГЛОНАСС/GPS;
- системы радиосвязи;
- ГИС;
- оборудование для мониторинга транспорта;

Спутниковый мониторинг – система наблюдения за объектами, построенная на основе систем спутниковой навигации, оборудования и технологий сотовой и/или радиосвязи, вычислительной техники и цифровых карт.

В настоящее время широкое развитие получили географические информационные системы (ГИС), которые позволяют эффективно работать с пространственно-распределенной информацией картами, планами, и в том числе с данными дистанционного зондирования Земли, т.е. спутниковыми снимками в различных спектральных диапазонах.

Цифровая обработка изображений относится к числу наиболее динамично развивающихся информационных технологий. Программные модули ГИС улучшают качество изображений, осуществляют математические операции над ними, вычисляют статистические характеристики изображений и классификацию объектов. Эти операции позволяют по данным спутникового дистанционного зондирования получать информацию о состоянии окружающей среды и землепользовании, оценивать последствия стихийных бедствий и решать множество других задач.

Сущность использования многоспектральных данных космических изображений сводится к дешифрированию и выявлению объектов местности. Среди найденных объектов по определенным признакам происходит выделение исследуемого объекта. Далее появляется возможность устанавливать именно для объекта изучения качественные и количественные характеристики. Математические методы обработки данных дистанционного зондирования позволяют получать информацию о пространственно-временных параметрах поверхности Земли, в том числе и водных объектах. Одним из таких параметров является водная маска, позволяющая на спутниковом изображении определить пиксели, в которых находятся водные объекты.

Целью данной работы является разработка методики дешифрирования многоспектральных изображений спутникового прибора Landsat-7 для определения водных объектов и построения водных масок.

Основой обнаружения на многоспектральных изображениях водных объектов являются характеристики их отражательной способности. Водные объекты характеризуются самыми низкими значениями коэффициентов отражения среди других природных объектов – рис. 1.

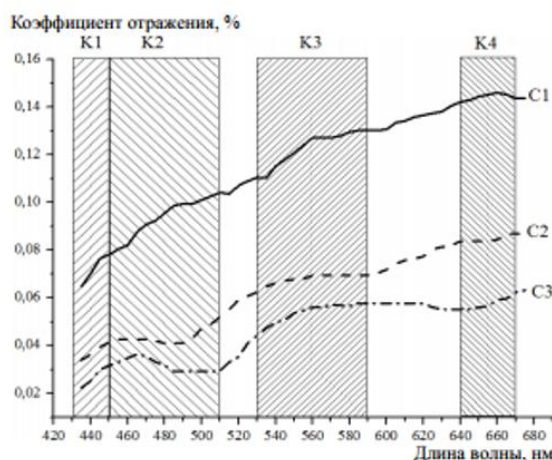


Рисунок 1- Спектральные кривые коэффициента отражения водной поверхности (C1,...,C3-вода пресная, различной мутности, C1-наиболее чистая); K1,...,K4 – четыре первых спектральных канала Landsat-7

Материалы и методы

В работе использовался космический снимок спутника Landsat-7, фрагменты 7-ми спектральных каналов представлены на рис. 2, обозначения каналов и длины волн – в табл. 1.

Таблица 1 - Спектральные каналы Landsat 7

Канал	Длина волны (мкм)	Цвет или диапазон	Аббревиатура
1-ый*	0,490	Синий	BLUE
2-ой	0,560	Зеленый	GREEN
3-ий	0,665-0,786	Красный	RED
4-ый	0,865	Ближний ИФК	NIR
5-ый	0,945	Средний ИФК	MIR
6-ой*	10,40-12,5	Дальний ИФК	TIR
7-ой	1,375-2,190	Средний ИФК	SWIR

* - снимок первого и шестого каналов в работе не использовался.

Для обнаружения водных объектов на космических многоспектральных изображениях были рассчитаны спектральные индексы [1,2]: индекс цвета воды, нормализованный вегетационный индекс (NDVI) и нормализованный разностный индекс воды (NDWI), а также: *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI2); *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI); *Water Ratio Index* (WRI); *Automated Water Extraction Index* (AWEI).

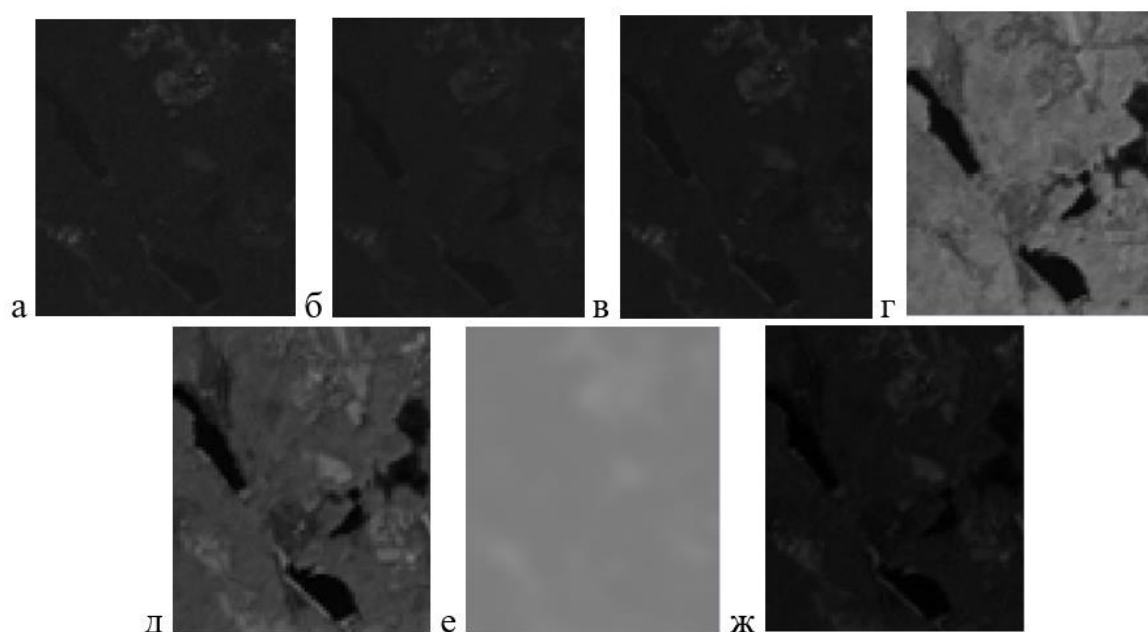


Рисунок 2- Спектральные каналы снимка Landsat 7, BLUE (а); GREEN (б); RED (в); NIR (г); MIR (д); дальний ИФК (е); SWIR (ж)

Расчёт NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) выполнялся по формуле [2]:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)},$$

где NIR – канал ближнего инфракрасного спектра отражения с диапазоном 0,76–0,90 мкм;

RED – канал красного диапазона видимого спектра отражения солнечного излучения со значением 0,63–0,69 мкм.

Индекс NDVI обычно применяется для определения состояния наземной растительности, главным образом в сельскохозяйственной отрасли.

Формула для расчёта NDWI имеет вид:

$$NDVI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)},$$

где SWIR – дальний инфракрасный канал с диапазоном длин волн 1,55–1,75 мкм.

Первоначально индекс использовался только для мониторинга содержания воды в листьях растений. Затем NDWI начали применять для мониторинга водоёмов, обнаружения затоплений.

Индекс цвета рассчитывали, как отношение:

$$\frac{GREEN}{BLUE},$$

где GREEN – зелёный канал видимого спектра излучения, с диапазоном спектра 0,52–0,60 мкм,

BLUE – синий диапазон спектра видимого электромагнитного излучения 0,45–0,52 мкм, канал.

Формула для расчёта NDMI2 имеет вид:

$$NDMI2 = \frac{(NIR - MIR)}{(NIR + MIR)},$$

где MIR – средний инфракрасный канал излучения, с диапазоном спектра 0,945 мкм,

Формула для расчёта MNDWI имеет вид:

$$MNDWI = \frac{(GREEN - MIR)}{(GREEN + MIR)},$$

Формула для расчёта WRI имеет вид:

$$WRI = \frac{(GREEN - RED)}{(NIR + MIR)},$$

Формула для расчёта AWEI имеет вид:

$$AWEI = 4 * (GREEN - MIR) - (0,25 * NIR + 2,75 * SWIR),$$

Результаты вычисления индексов по многоспектральному изображению спутника Landsat-7 представлены на рис.3.

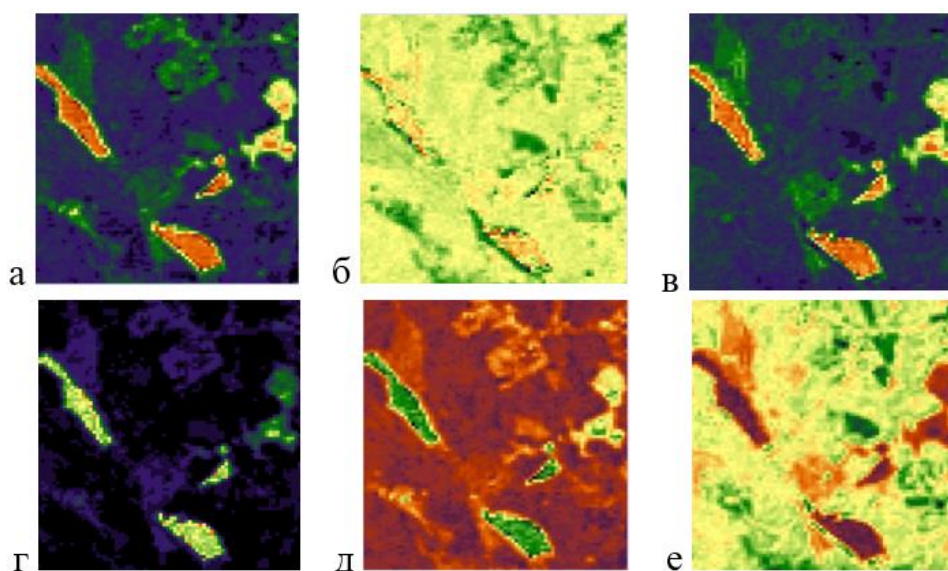


Рисунок 3- Индексные изображения
а- NDWI, б- NDMI2, в- MNDWI, г- WRI, д- NDVI, е-AWEI

Проанализировав полученные результаты, получены минимальное и максимальное значение индексов для водоёмов. Индексы: NDWI, NDMI2, MNDWI дают положительные значения для водных объектов. Индекс WRI дает значения больше 1, в диапазоне от 1 до 4. В отрицательных диапазонах вода имеет значения в следующих индексах: NDVI и AWEI. Водоёмы, подверженные процессам эвтрофикации, могут дать значение данных индексов выше нуля, надводная растительность - показатели, близкие к единице, а значения индекса для увлажнённых земель могут оказаться ниже нуля.

Далее на основе полученных пороговых значений индексов выполнили сегментацию водоемов на каждом индексном изображении – рис. 4. С учетом пространственного разрешения сканера Landsat-7 30 м, вычислены площади выделенных водоемов – табл. 2.

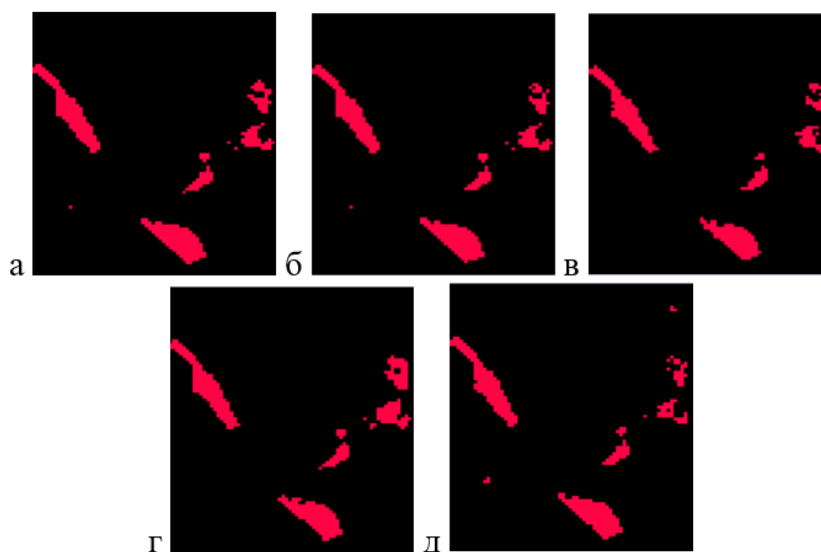


Рисунок 4 - Результаты сегментации водоемов на индексных изображениях: NDWI (а); NDWI2 (б); MNDWI (в); WRI (г); NDVI (д)

Таблица 2 – Площади водоемов на различных индексных изображениях

Индекс	Площадь водоемов, км ²
NDWI	0.3528
NDWI2	0.3456
MNDWI	0.3123
WRI	0.3700
NDVI	0.3294

Максимальная площадь выделенных водоемов получена применением индекса WRI и составила 0,37 км², минимальная - индексом MNDWI и составила 0,31 км².

Для визуального представления полученных результатов выполнено наложение береговой линии водоема, расположенного в северо-западной части анализируемой территории, выделенной некоторыми индексами, на исходный снимок – рис. 5.

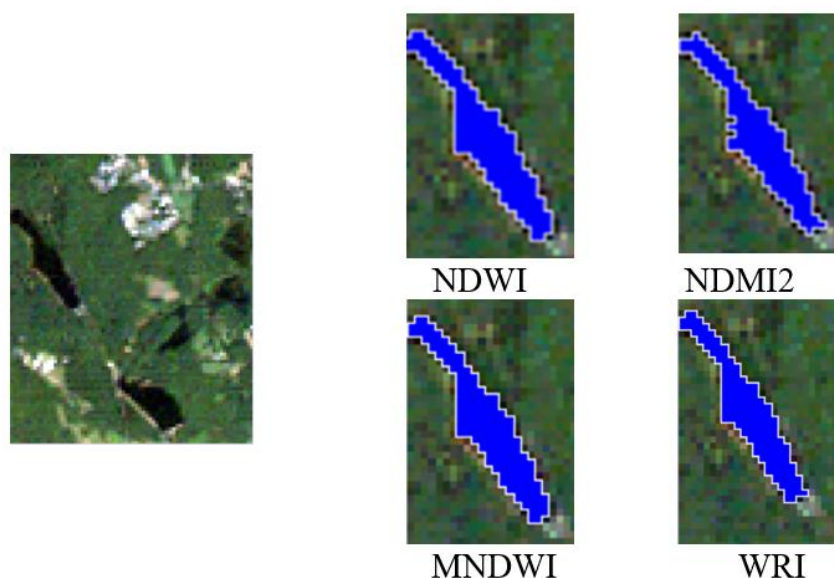


Рисунок 5- Результат наложения водоема, выделенного некоторыми индексами, на исходный снимок

Заключение

Для автоматизированного выделения водных объектов на спутниковых снимках были использованы следующие спектральные индексы: NDWI, NDMI2, MNDWI, WRI. Площадь выделенных с помощью различных индексов водоемов отличается на 16 %. Достоверность полученных результатов должна подтверждаться наземными наблюдениями.

Данные индексы также могут быть использованы для анализа состояния водных объектов. Однако, из-за различных физико-химических условий в водоёмах и отличий в степени их эвтрофирования, для каждого конкретного водоема необходимо эмпирическим путём подбирать наиболее информативные

индексы и осуществлять корректировку используемых для их расчёта формул, подбирать шкалу измерений.

Список использованной литературы

1. Бочаров А.В., Тихомиров О.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки изменений прибрежной зоны водохранилищ. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – т.17, No 4(4), – 2015. - 55 с.
2. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я., Савиных В. П. Использование космических снимков для определения границ водоёмов и изучения процессов эвтрофикации. Теоретическая и прикладная экология, – 2019. – № 3– С. 28-33.

ХАОС ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Мухамедшин Макар Илгизович, Шишкин Андрей Дмитриевич,
Герасименко Николай Иванович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются возможности использования программно-вычислительного пакета «Maple» для использования в вычислительных нуждах университета, а именно «в качестве математического воспитания» обучающихся студентов.

Ключевые слова: хаос, нелинейные дифференциальные уравнения, «Maple», аттракторы

CHAOS OF DYNAMIC SYSTEMS

*Mukhametshin Makar Ilgizovich, Shishkin Andrey Dmitrievich,
Gerasimenko Nikolai Ivanovich*

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article discusses the possibilities of using the software and computing package "Maple" for use in the computing needs of the university, namely "as a mathematical education" of students.

Keywords: chaos, nonlinear differential equations, "Maple", attractors

Настоящая работа посвящена нелинейным динамическим системам, в частности странным аттракторам, которые описываются системами дифференциальных уравнений. На вопрос практического использования необходимо отметить, что нелинейная динамика находит своё применение в достаточно сложных, но чрезвычайно важных сферах деятельности, таких как социология, экономика, метеорология и др. Как комментировал бывший глава Гидрометцентра России Роман Менделевич Вильфанд «...как правило, теоретическая минимальная ошибка начальных данных ведет к тому, что через две недели решение задачи перестает зависеть от этих самых начальных данных» [4].

Основной целью данной работы является обсервация поведения странных аттракторов: Лоренца, Дуффинга, Ресслера, под действием внешних параметров, а также запаздывающего аргумента, с помощью программного пакета «Maple».

Основными задачами данной работы являются:

- краткое рассмотрение истории открытия странного аттрактора;

- построение и проведение наблюдений за поведением странных аттракторов с помощью программного обеспечения «Maple».

1 НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Для начала необходимо понять, что такое ДС¹. ДС описываются дифференциальными уравнениями. Существуют линейные и нелинейные ДС, изменяемые внешними управляемыми параметрами или – описываемые фазовым пространством (семейством фазовых пространств). Необходимо отметить, что ДС при определенных внешних воздействиях преобразуются, в достаточно сложную систему, называемой аттрактором.

Аттрактор — элемент хаотической динамики, являющийся подмножеством фазового пространства, что все траектории, стартующие не слишком далеко от него, стремятся к нему с течением времени. Простейшим примером аттрактора, к примеру, для маятника, является точка (маятник стремится занять состояние покоя – точку). Однако для предсказания эволюции ДС, аттракторы непригодны.

Не менее интересна история открытия аттрактора Эдвардом Лоренцем – американским ученым, метеорологом армии США, изучавшим конвективное движение воздушных масс, составляя нелинейные дифференциальные уравнения первого порядка, которые в последствии породили аттрактор в его честь.

Будучи еще студентом в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе Эдвард получил письмо с приглашением присоединиться к преподавательскому составу Массачусетского технологического института и возглавить проект статистического прогнозирования. Его привлекла перспектива должности преподавателя, правда он не практиковался в статистике, хотя статистическое прогнозирование в то время было основным направлением исследований в области методов прогнозирования. В свою очередь, Эдвард был более знаком с концепцией численного прогнозирования погоды, тогда находившейся в зачаточном состоянии, но начал понимать, как можно объединить эти два метода.

К этому времени ряд статистических прогнозистов пришли к убеждению, что модели линейной регрессии будут работать так же хорошо, как и численные методы. Эдвард Лоренц скептически отнесся к этой идее и решил проверить ее с помощью простого набора уравнений, которые он численно интегрировал, а затем посмотрел, насколько хорошо результат можно воспроизвести с помощью методов линейной регрессии. Чтобы выполнить интеграцию, ему понадобится компьютер. Роберт Уайт, тогда работавший в Массачусетском технологическом институте, пришел ему на помощь, и вместе они остановились на «Royal McBee LGP-30»

В результате Эдвард понял, что если бы атмосфера вела себя так же, то прогноз погоды на большие промежутки времени, то последние были бы невозможны из-за чрезвычайной чувствительности к начальным условиям. В

¹ ДС – динамические системы

течение следующих месяцев он пытался понять, что эта чувствительность к начальным условиям и непериодический характер решений каким-то образом связаны» [1]. Таким образом зародилась современная теория хаоса.

Важную роль в происхождении хаоса в динамических системах играют предельные циклы — замкнутые фазовые траектории, отвечающие периодическому поведению.

Физическим процессом, лежащем в основе модели Лоренца, является двумерная тепловая конвекция. Она развивается в результате подогревания нижнего слоя под действием градиента температуры и силы тяжести. Подогретая у нижней пластинки жидкость становится легче [2]. Ее вытесняет вверх более холодная и потому более тяжелая жидкость. Далее холодная жидкость, попав вниз, подогревается; теплая, поднявшись вверх, охлаждается. Данный процесс можно рассчитать с помощью формулы:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x), \\ \dot{y} = x(p - z) - y, \\ \dot{z} = x * y - \beta z. \end{cases} \quad (1);$$

где, x отвечает за интенсивность конвекции; y отображает разность между температурами входящих и нисходящих потоков; z характеризует отклонение вертикального температурного профиля от линейной зависимости; $\sigma > 1$ — число Прандтля (критерий подобия тепловых процессов в жидкостях и газах); $\rho > 0$ — число Рэлея (отображает поведение жидкости под воздействием градиента температуры); $\beta > 0$ — число, отражающее геометрию конвективной ячейки [5].

Таким образом, можно было бы искать путь возникновения турбулентности.

Далее, мы попытались воссоздать вышеописанные условия, для построения аттрактора в «Maple».

2 ЭКСПЕРИМЕНТЫ В MAPLE

Первое, что мы сделали для расчета аттракторов это:

- провели поиск стационарных точек которые зависят от начальных параметров (которые задали самостоятельно - a, b, μ) ;
- составили систему алгебраических уравнений из правой части динамической системы;
- ввели функции «EnvAllSolutions» - представляющей все решения системы;
- непосредственно само построение функций вычисляющих координаты стационарных точек аттрактора в зависимости от внешних параметров;

Далее производилось построение 3D графика системы (либо для наглядности провести анимацию аттрактора), вводим начальные условия, время эволюции системы, размер шага и при необходимости толщину линии и её цвет;

В последствии, можно менять наши параметры, прощупывая среду, рассматривая как будет вести себя аттрактор при различных начальных

условиях. Таким образом был вычислен сам аттрактор, представленный на Рисунок .

В формулировке программного вычислительного пакета, запись основной формулы выглядит так :

$$\begin{aligned} diff(x(t),t) = & \alpha * y(t) - \alpha * x(t), diff(y(t),t) = x(t) * z(t) * \\ & \mu * x(t) - y(t), diff(z(t),t) = x(t) * y(t) - b * z(t) \end{aligned} \quad (2)$$

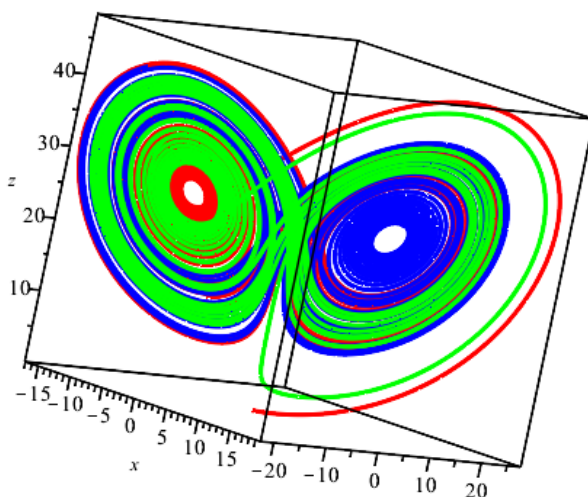


Рисунок 1 - Аттрактор Эдварда Лоренца, построенный в программе Maple

Если рассматривать то как аттрактор вел себя при построении, то две устойчивые точки в центрах спиралей аттрактора Лоренца превратились в неустойчивые. В результате траектория, приблизившись к одной из них, «оттолкнулась» от нее и начала путь ко второй точке. Где произошло то же отталкивание. В итоге - возникло случайное блуждание траектории между двумя неустойчивыми точками. При этом вокруг каждой из них траектория совершает некоторое число оборотов. В пределе возникает стохастический² аттрактор Лоренца.

Далее, аттрактор был представлен в 2D изображении, как это показано на Рисунок 2, для дальнейшего анализа его поведения при незначительном изменении начальных параметров.

Стоит отметить, что функции $x(0)=0.10001, y(0)=0.10001, z(0)=0.1$ выделенные соответственно красным, синим и зелёными цветами, отличаются, как кажется на первый взгляд очень незначительно, чем можно было бы пренебречь, однако при эволюции системы, функции начинают проявлять дивергенцию. О чем еще раз свидетельствует насколько важно знать значение начальных параметров системы.

² См - хаотический

Таким образом, были получены следующие выводы: если мы немного меняем наши начальные условия, то нелинейная система будет кардинально изменена и иметь расхождения в собственной эволюции.

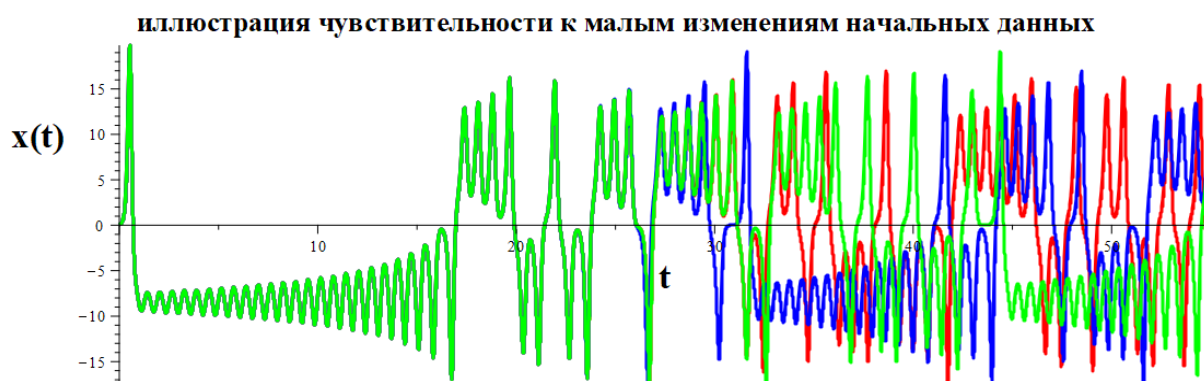


Рисунок 2 - Чувствительность аттрактора к малым изменениям начальных данных

Вычислительный эксперимент показывает, что даже значения близкие друг к другу значения могут отличаться в будущем. Что еще раз доказывает основную теорию о чувствительности начальных параметров.

На примере осциллирующего аттрактора Дуффинга, можно увидеть флуктуации ДС, её изменение в зависимости от параметра запаздывания, который подразумевает не мгновенное изменение левой части уравнения и правой (т.е с максимальной скоростью, см скоростью света), а с некоторой задержкой. На рисунках Рисунок 4, 5 изображено, каким образом параметр задержки (запаздывания) меняет фазовый портрет ДС аттрактора Дуффинга.

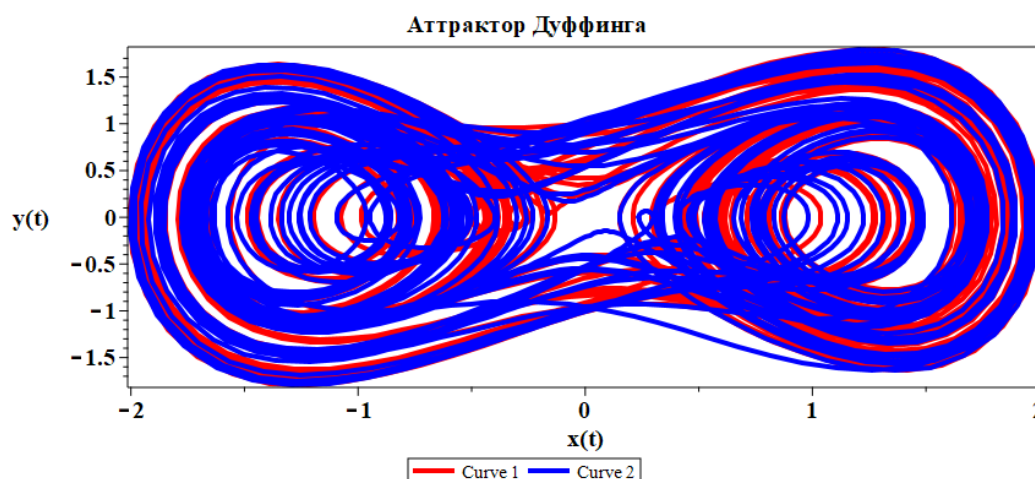


Рисунок 3 - Начальное состояние аттрактора Дуффинга

Аттрактор Дуффинга с запаздыванием

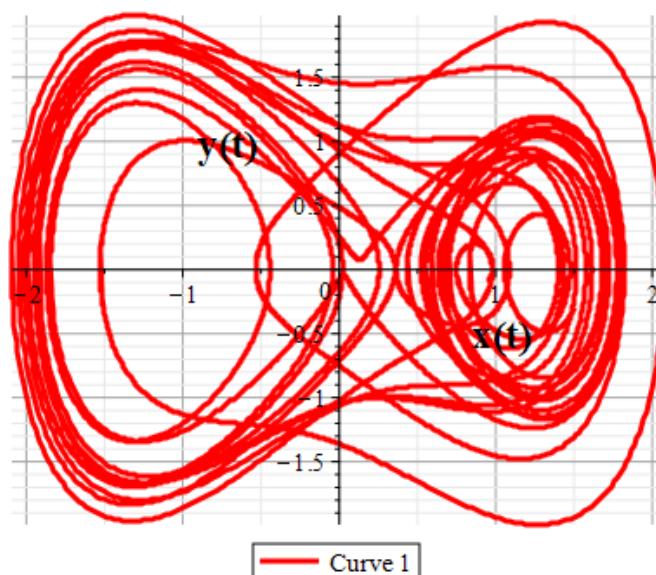


Рисунок 4 - Разрушение аттрактора Дуффинга при изменении запаздывающего аргумента

Аттрактор Дуффинга с запаздыванием

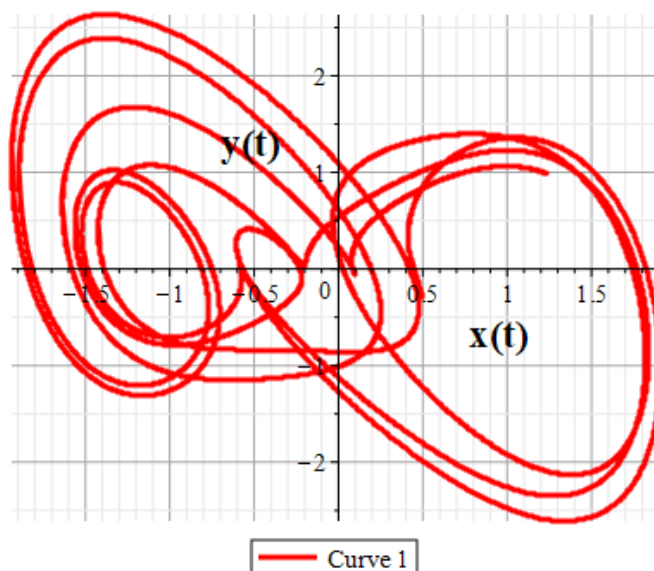


Рисунок 5 - Дальнейшее изменение аттрактора Дуффинга

Помимо этого нам удалось построить аттрактор Ресселра – Рисунок , чем можно было бы показать, что работа в программе Maple не ограничивается работой с предыдущими аттракторами.

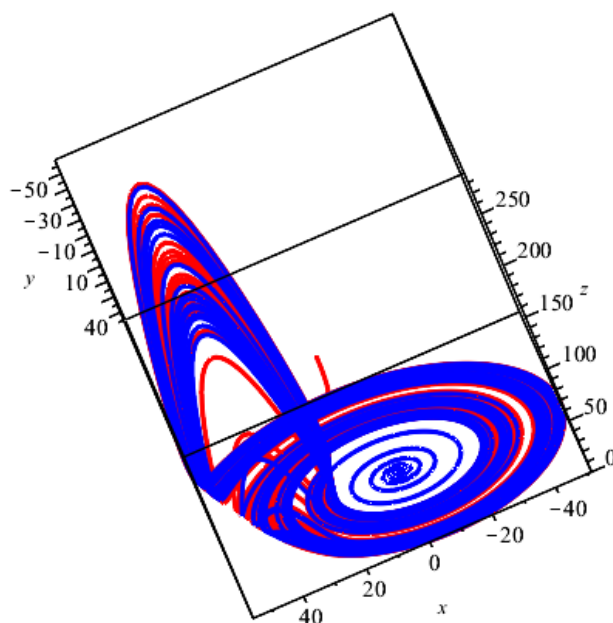


Рисунок 6 - Аттрактор Ресслера

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обучающимся метеорологам, было бы полезно расширить курс дифференциальных уравнений и рассмотреть хаотическую динамику и уравнения с запаздывающим аргументом. Так как конечная скорость не равна бесконечности - существует момент с запаздыванием.

В результате вычислительных экспериментов было выяснено, что небольшие изменения в начальных условиях приводят к значительным изменениям результата.

Если было бы возможно рассчитать начальное состояние Вселенной, с самого ее зарождения, то перед человечеством открылись бы безграничные возможности. Скорее всего, именно это является основной целью определения начального состояния системы посредством решения нелинейных дифференциальных уравнений.

Список использованной литературы

1. Kerry E., Norton E. Lorenz//National Academy of Sciences Washington D.C 2011 – Pp. 15-16.
 2. Табор. М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике// Москва УРСС, – 2001 – С. 32-33.
 3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса// Москва.:Наука, – 1988 – С. 259 – 262.
- Интернет- ресурсы
4. Гидрометцентр России: сайт: URL: <https://meteoinfo.ru/news/> (дата обращения 10.04.2022).
 5. nplus1.ru/ URL: <https://nplus1.ru/material/2019/09/06/chaosreigns> (дата обращения 9.04.2022).

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ ДЛЯ СЛАБО ЗАМУТНЁННОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Потапова Ирина Александровна, Тиханов Артур Вадимович
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе предложен метод интерпретации аэрозольной информации, который базируется на решении лидарного уравнения. Проанализирована точность метода, ее зависимость от влияния фоновой засветки.

Ключевые слова: лидарная информация, аэрозоль, загрязнение, фоновая засветка, метод, лидарное зондирование атмосферы, слабо замутнённая атмосфера.

THE INFLUENCE OF SOLAR RADIATION ON THE DETERMINATION OF THE ATTENUATION COEFFICIENT FOR A WEAKLY CLOUDED ATMOSPHERE DURING LIDAR MEASUREMENTS

Potapova Irina Aleksandrovna, Tikhonov Arthur Vadimovich
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The paper proposes a method for interpreting aerosol information, which is based on solving the lidar equation. The accuracy of the method and its dependence on the influence of background illumination are analyzed.

Keywords: lidar information, aerosol, pollution, background illumination, method, lidar sensing of the atmosphere, slightly cloudy atmosphere.

Введение. Для представителя урбанистической цивилизации картина смога и струй дыма в атмосфере является настолько привычной, что не вызывает вопросов о безопасности жизни и здоровья. При этом без постоянного мониторинга невозможно поддержание благополучного состояния не только человека, но и всех живых существ.

Существует множество различных методов и средств мониторинга окружающей среды. Для более детального понимания сущности каждого из них необходима классификация. По методам ведения различают дистанционный, автоматический, химический, биологический и геофизический мониторинг. Существуют и более детальные классификации, а также разделения по другим признакам. В данной работе главным образом рассмотрим один из наиболее технологичных методов, относящихся к дистанционным.

Метод лидарного зондирования атмосферы является одним из самых технологичных и перспективных методов изучения физических свойств атмосферы. Но при этом, изменение величины фоновой засветки очень сильно влияет на точность такого метода, в основном, это относится к определению прозрачности воздушной оболочки. Не учёт данной технической особенности зачастую приведёт к абсолютно некорректным результатам измерений. В этой статье рассматриваются возможные пути решения данной проблемы.

В данной статье проводится анализ массива данных, полученных LIDAR'ом при проведении эксперимента в Нью-Джерси. На рисунке 1 представлен типовой сигнал зависимости мощности излучения от расстояния, характерный для слабо замутненной атмосферы [3,4].



Рисунок 1 - Зависимость мощности эхосигнала от расстояния

Методика и конечные результаты. Перед испусканием лазерного излучения приемником регистрируется фоновая засветка, мощность которой должна соответствовать значению мощности принимаемого сигнала в конце его прохождения с высокой точностью. Но во время испускания сигнала возникает «шум», и настройки приемника нарушаются. Это приводит к большой приборной погрешности. При выполнении измерения загрязнения слабо замутнённой атмосферы необходимо определить погрешность, которая возникает в данном эксперименте.

Для оценки случайной погрешности фоновой засветки, в настоящее время, используется метод, который заключается в осреднении параметра по трассе зондирования при анализе большого количества импульсов. При использовании данного подхода случайная ошибка P^* , влияющая на эффективность метода, находится из выражения:

$$\delta = \left\{ \frac{\sum_{ijk=1}^n (P_{ijk=1} - P_*)^2 \Delta_{ijk}^2}{\sum_{ijk=1}^n \Delta_{ijk}^2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где

$$\Delta_{i,j,k}^0 = \begin{vmatrix} P_i & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ P_j & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ P_k & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{i,j,k} = \begin{vmatrix} 1 & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ 1 & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ 1 & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix},$$

а

$$P_{*ijk} = \Delta_{ijk}^0 / \Delta_{ijk}. \quad (2)$$

Выражение (1) может быть записано следующим образом:

$$\delta = \sqrt{\left\{ \frac{D_1}{D_0} - P_*^2 \right\}} \quad (3)$$

Случайную ошибку осредненной величины P_* можно рассчитать используя линейное приближение:

$$\delta = C_* \left\{ \sum_1^n \left(\frac{\partial P_*}{\partial P_i} \right)^2 P_i \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Причём

$$\delta P_i = C_* \sqrt[n]{P_i}. \quad (5)$$

Из формулы (4), следует:

$$\delta = \frac{C_*}{D_0} \left\{ \sum_1^n \left(\Delta_1 - \frac{\Delta_2}{R_i^2} + \frac{\Delta_3}{R_i} \right)^2 P_i \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где

$$\Delta_1 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} - \left(\sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \right)^2$$

$$\Delta_2 = \left(\sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \right)^2 - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3}$$

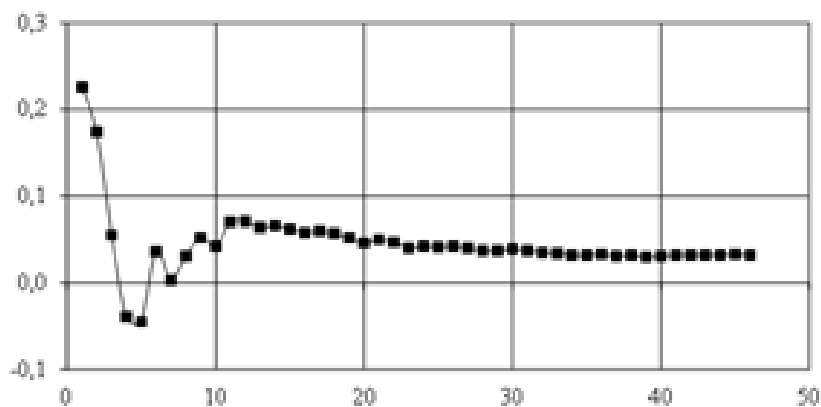
$$\Delta_3 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4}$$

Случайную ошибку величины P_* можно рассчитать следующим образом:

$$\delta = C_* \left\{ \frac{\Delta_1}{D_0} \sum_1^n P_i \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

При использовании данного метода случайная погрешность заметно убывает при уменьшении шага зондирования. В частности, это можно сказать о средней величине фоновой засветки.

На рисунке 2 изображён график зависимости коэффициента ослабления от количества шагов при осреднении по 51 посылке импульсов.



Номер шага, шаг 225 м.

Рисунок 2 - Результаты определения коэффициента ослабления по 51 посылке импульсов

Но при этом нужно учесть, что в рассматриваемых данных присутствует приборная погрешность, существенно искажающая определение концентраций частиц, загрязняющих атмосферу.

Задача становится более сложной в том случае, когда проводится анализ единичного сигнала. При данных условиях используется метод наименьших квадратов, который заключается в анализе квадрата разности левой и правой части лидарного уравнения [5], записанного для каждой характерной точки сигнала [6],

$$P_i - P_* - \frac{B}{R_i^2} \exp(-2\sigma R_i) = 0, \quad (8)$$

$$\delta^2 = \sum_1^n \left(P_i - P_* - \frac{B}{R_i^2} \exp(-2\sigma R_i) \right)^2. \quad (9)$$

Результаты вычисления коэффициента ослабления, полученные по формуле (9) в случае единичного импульса представлены на рисунке 3.

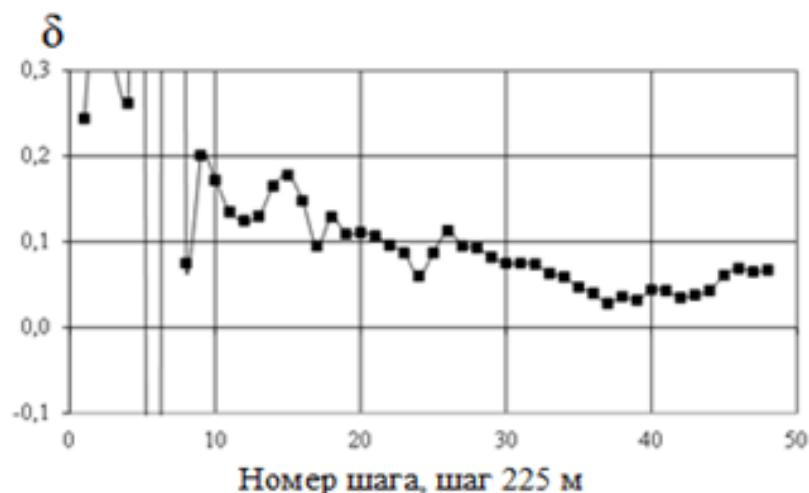


Рисунок 3 - Погрешность определения коэффициента ослабления при посылке одного импульса, $R(i=1) = 2500$ м

Анализ этого графика показывает, что несмотря на осцилляции величины погрешности, точность измерений при достаточно большом количестве шагов получается достаточно высокой при использовании рассматриваемого метода. Данный метод может быть использован так же и в том случае, когда измерение прозрачности атмосферы невоспроизводимо.

Заключение. В работе предложен метод интерпретации аэрозольной информации, который базируется на решении лидарного уравнения. Из данного исследования можно сделать заключение о высокой точности метода, указано на необходимость нахождения значения фоновой засветки с высокой степенью точности. Используемый алгоритм применим для невоспроизводимых измерений в случае слабо замутнённой атмосферы.

Список использованной литературы

1. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калиничев Д.В., Куклин О.А., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Алгоритм лидарного определения фоновой засветки и коэффициента ослабления слабо замутненной атмосферы без итерационного процесса/ В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 58-60.
2. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калиничев Д.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Влияние фоновой засветки на точность определения прозрачности слабо замутненной атмосферы/ В сборнике: ИНФОГЕО-2019. Стратегическое управление развитием территорий Сборник трудов VI международной научно-практической конференции, – 2019. – С. 134-136.
3. Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Саноцкая Н.А., Яковлева Т.Ю. Итерпретация слабого радиационного излучения при лидарном зондировании атмосферы/ Сборник тезисов международного

симпозиума «АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ И ДИНАМИКА» (МСАРД-2019) СПб., – 2019. – С. 189-190.

4. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B., Sanotskaya N.A., Shchadin A.V. Atmospheric aerosol measurements and reliability problem: new results/ International Journal of Remote Sensing, – 2014, 35, – Pp. 5750-5765.

5. Egorov A.D., Potapova I.A., Shchukin G.G. Lidar methods for probing an atmospheric aerosol/Journal of Optical Technology. – 2001.– Т. 68.– № 11. – С. 801-804.

6. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б. Обращение лидарных сигналов малой мощности/Оптический журнал, – 2007. – Т. 74.– № 10. – С. 25-28.

МЕТОДЫ УПРОЩЕНИЯ ДЛЯ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ. ИТЕРАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ УРАВНЕНИЙ.

Селявко Дарина Даниловна, Герасименко Николай Иванович
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается один из способов нахождения эволюционных уравнений для волны, распространяющейся в одномерной среде. Также в ней представлены наиболее изученные и известные уравнения в нелинейной теории волн.

Ключевые слова: волна, нелинейные, среда, вектор, координаты, время, матрица, компоненты, приближение, функция, дисперсия.

SIMPLIFICATION METHODS FOR ONE-DIMENSIONAL WAVE PROCESSES. ITERATIONAL METHOD FOR OBTAINING EVOLUTIONARY EQUATIONS.

Selyavko Darina Danilovna., Gerasimenko Nikolai Ivanovich
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The article considers one of the methods for finding evolution equations for a wave propagating in a one-dimensional medium. It also presents the most studied and known equations in the nonlinear theory of waves.

Keywords: wave, nonlinear, medium, vector, coordinates, time, matrix, components, approximation, function, dispersion.

Пусть распространение волн в одномерной среде описывается матричной системой:

$$I \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + A(\tau, \chi) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \varepsilon \hat{F} \{ \bar{u}, x, t, \chi, \tau, \varepsilon \} \quad (1.1)$$

$$\tau = \varepsilon t; \chi = \varepsilon x; \varepsilon = 1$$

Здесь: $\bar{u}$ – N-мерный вектор переменных полей;

I – единичная матрица;

A – квадратная матрица;

$\hat{F}$ – заданный, нелинейный интегро-дифференциальный оператор.

Относительно матрицы A (предположим): все собственные значения действительны и различны $\Rightarrow$ при $\varepsilon=0$ система гиперболическая и имеет решения в виде:

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^N v_i(x - \lambda_i t) \bar{r}_i \quad (1.2)$$

Где: v_i – произвольная скалярная функция (Ее вид определен из начальных и граничных условий);

$\bar{r}_i$ – правый собственный вектор матрицы A , отвечающий собственному значению λ (скорости распределения):

$$A\bar{r} = \lambda\bar{r}, \quad \text{Det}[A - \lambda I] = 0 \quad (1.3)$$

Рассмотрим более общий класс волн с учетом возмущенных факторов ($\varepsilon \neq 0$) и приведем исходную систему 1.1 к нормальной форме, проводя такую замену переменных:

$$\bar{u} = \gamma \bar{v} \quad (1.4)$$

Здесь: γ – квадратная матрица, составленная из линейно независимых собственных векторов матрицы A .

Ввиду зависимости от времени и координаты, вектора $\bar{r}$ и скорости распределения (λ) также будут зависеть от τ и χ .

После подстановки (1.4) в (1.1) получим:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \theta \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} = \varepsilon \gamma^{-1} \left\{ \widehat{F} - \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \tau} + A \frac{\partial \gamma}{\partial \chi} \right) \bar{v} \right\} = \varepsilon \widehat{f} \{ \bar{v}, x, t, \chi, \tau, \varepsilon \} \quad (1.5)$$

Здесь: θ – диагональная матрица с элементами $\lambda_i(\tau, \chi)$;

γ^{-1} – обратная матрица, составленная из левых собственных векторов $\bar{e}$ матрицы A . ($\bar{e}A = \bar{e}\lambda$)

При этом принимаем следующую норму собственных векторов:

$$\bar{e}_i \bar{r}_j = \delta_{ij} - \text{символ Кронекера} \quad (1.6)$$

Во многих случаях граничные или начальные условия таковы, что в среде возбуждается лишь $m < N$ волн $\bar{v}_i$ или даже 1 из них.

Другой пример, когда начальное условие имеет вид локализованного возмущения

Возмущение быстро распадается на импульсы, расходящихся по своим характеристикам, так, что рассмотрение каждого из них для больших промежутков времени может быть проведено в первом приближении независимо.

В подобных случаях среди компонент вектора $\bar{v}$ можно выделить m «главных» (компонент) составляющих (основных волн), остальные же $N-m$ компонент малы и могут быть вычислены с помощью теории возмущений.

«Нулевое» приближение (ε^0)

$$\frac{\partial v_i^{(0)}}{\partial t} + \lambda_i(\chi, \tau) \frac{\partial v_i^{(0)}}{\partial x} = 0. \quad i = 1, \dots, m \quad (1.7)$$

$$v_s^{(0)} = 0. \quad s = m + 1, \dots, N \quad (1.8)$$

Первое приближение (ε^1)

$$\frac{\partial v_i^{(1)}}{\partial t} + \lambda_i(\chi, \tau) \frac{\partial v_i^{(1)}}{\partial x} = \varepsilon f_i \{ v_1^{(1)}, \dots, v_m^{(1)}, 0, \dots, 0, \chi, \tau, 0 \} \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial v_s^{(1)}}{\partial t} + \lambda_s(\chi, \tau) \frac{\partial v_s^{(1)}}{\partial x} = \varepsilon f_s \{ v_1^{(1)}, \dots, v_m^{(1)}, 0, \dots, 0, \chi, \tau, 0 \} \quad (1.10)$$

n-ое приближение

$$\frac{\partial v_i^{(n)}}{\partial t} + \lambda_i(\chi, \tau) \frac{\partial v_i^{(n)}}{\partial x} = \varepsilon f_i \left\{ v_1^{(n)}, \dots, v_m^{(n)}, v_{(m+1)}^{(n-1)}, \dots, v_N^{(n-1)}, \chi, \tau, \varepsilon \right\} \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial v_s^{(n)}}{\partial t} + \lambda_i(\chi, \tau) \frac{\partial v_s^{(n)}}{\partial x} = \varepsilon f_i \left\{ v_1^{(n)}, \dots, v_m^{(n)}, v_{(m+1)}^{(n-1)}, \dots, v_N^{(n-1)}, \chi, \tau, \varepsilon \right\} \quad (1.12)$$

Таким образом, в каждом приближении система распадается на 2 группы: m связанных нелинейных эволюционных уравнений (1.11) для основных волн и $N-m$ линейных независимых уравнений (1.12) с известными правыми частями для малых поправок к основным волнам. В результате мы получаем итерационный способ (получения) нахождения эволюционных уравнений для m взаимодействующих волн.

Более подробно рассмотрим уравнение одноволнового приближения ($m=1$).

Обозначив $v_1^{(n)} = v$ и $\lambda_1 = \lambda$, $f_1 = f$ перепишем (1.11) в виде:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda_i(\chi, \tau) \frac{\partial v}{\partial x} = \varepsilon f \left\{ v, v_s^{(n-1)}, \chi, \tau, \varepsilon \right\} \quad (1.13)$$

Поскольку для f справедлива следующая формула, вытекающая из (1.5):

$$f = \bar{l}_1 \hat{\bar{F}} - \bar{l}_1 \frac{\partial \bar{r}_1}{\tau} v + \sum_{i,j=1}^N l_{1j} A_{ji} \frac{\partial r_{1i}}{\partial x} v, \quad (1.14)$$

То f представила, как и $\hat{\bar{F}}$, в виде суммы производных и интегралов от некоторых функций переменной v . (Хотя может и не содержать некоторых слагаемых, входящих в $\hat{\bar{F}}$). Тогда эволюционное уравнение первого приближения имеет вид:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda(\chi, \tau) \frac{\partial v}{\partial x} + \dots + \varepsilon \int h^{(-1)} \partial x + \varepsilon h^{(0)} + \varepsilon \frac{\partial h^{(1)}}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial^2 h^{(2)}}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\partial^3 h^{(2)}}{\partial x^3} + \dots = 0 \quad (1.15)$$

Где $h^{(n)}$ - функция от v и все производные по t исключены с помощью (1.13).

В простейшем случае только $h^{(1)} \neq 0$, соответствует уравнение:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \frac{\partial v}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial h^{(1)}}{\partial x} = 0 \quad (1.16)$$

(1.16) – Уравнение простой волны (описывает волны в недиспергирующей среде)

Если $h^{(2)}$ и $h^{(1)} \neq 0$, причем $h^{(2)} = -\delta v$, $h^{(1)} = \frac{v^2}{2}$, то:

из (1.15)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \frac{\partial v}{\partial x} + \varepsilon v \frac{\partial v}{\partial x} + \varepsilon \beta \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0 \quad (1.17)$$

(1.17) – уравнение Бюргерса нелинейной воды в вязкой среде.

Если вместо $h^{(2)}$ отлична от 0 $h^{(3)} = \beta v$, то:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \frac{\partial v}{\partial x} + \varepsilon v \frac{\partial v}{\partial x} + \varepsilon \beta \frac{\partial^3 v}{\partial x^3} = 0 \quad (1.18)$$

(1.18) – уравнение Кортевега-де Вриза описывает нелинейные волны в диспергирующей среде, причем дисперсия сказывается наиболее сильно для коротких волн. («высокочастотная дисперсия»).

Уравнения (1.16) – (1.18) являются наиболее изученными в нелинейной теории волн, для них известны точные решения задачи Коши.

Приведенный выше способ получения эволюционных уравнений, особенно в 1 приближении, нагляден с физической точки зрения и удобен в практическом применении. Однако в рамках такого подхода остается неясной его связь с асимптотическими разложениями, да и повышение порядка в высших приближениях затрудняет разработку эффективных численных схем их решения.

Список использованной литературы

1. Пелиновский Е. Н. Фридман В. Е., Энгельбрехт Ю. К. Нелинейные эволюционные уравнения. Таллин: Валгус, – 1984.
2. Лейбович С., Сибасс А. (ред.) Нелинейные волны. М.: Мир, 1977. –320 с.

РОССИЙСКИЕ СПУТНИКИ «АРКТИКА-М» ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОЛЯРНЫМИ ОБЛАСТЯМИ

Селявко Дарина Даниловна, Ягнюков Семен Алексеевич,

Яковлева Татьяна Юрьевна

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются о новых спутниках «Арктика-М» и особенностях их работы.

Ключевые слова: космический спутник, полюс, высокоэллиптическая орбита.

RUSSIAN «ARCTIC-M» SATELLITES FOR MONITORING POLAR REGIONS

Selyavko Darina Danilovna., Yagnukov Semyon Alekseevich,

Yakovleva Tatiana Yurievna

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The article discusses the new Arctic-M satellites and the features of their operation.

Keywords: space satellite, pole, highly elliptical orbit.

Арктика-М уникальная система из двух спутников, предназначенная в первую очередь для наблюдения за полярными областями. Эти устройства будут работать на специальной высокой эллиптической орбите типа «Молния». Данная орбита выглядит как продолговатый эллипс, и основную долю времени на орбите космическое оборудование находится у апогея (самая дальняя точка от Земли), который располагается над Северным полушарием для «Молнии». Это даёт возможность спутникам системы «Арктика-М» исследовать и



предоставлять достаточно точные изображения арктических регионов планеты Земля.

«Арктика-М» подобно своему «предку» «Электро-Л» создана, как и предыдущее поколение, на том же базовом модуле служебных систем «Навигатор». Между ними существуют отличия, но их очень

Рисунок 1 - Один из спутников
системы "Арктика-М"

мало. В частности, системе «Арктика»

необходимо преодолевать радиационный пояс Ван-Аллена, который находится над земной поверхностью на высоте от 4 до 17 тыс. км, целых четыре раза за 24 часа. Именно поэтому спутник оснащен особенной усиленной радиационной защитой.

Космическое устройство проводит съемку поверхности Земли с разрешающей способностью от 1 до 7 км на пиксель один раз в диапазоне времени от 15 до 30 минут. Из этого можно сделать вывод, что объекты, размер которых составляет меньше одного километра, на таких снимках не

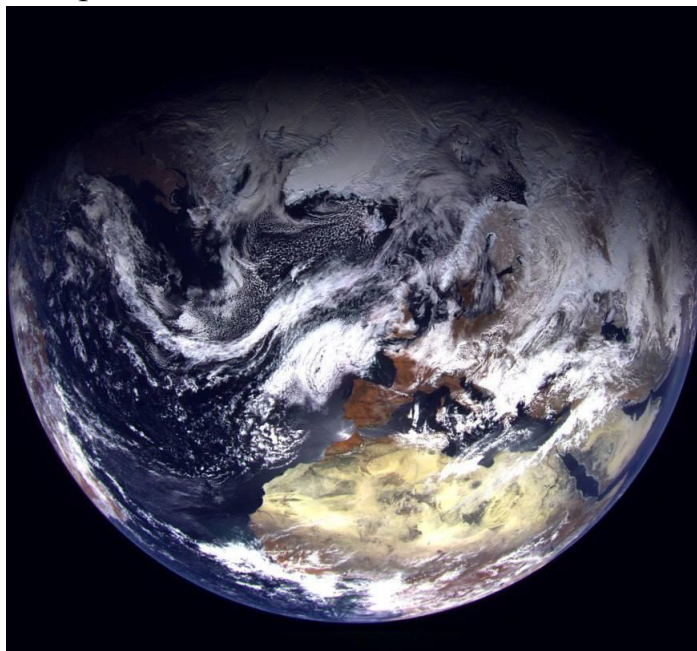


Рисунок 3 - Первый снимок со спутника "Арктика-М"

рассмотреть, однако очень хорошо заметны большие циклоны и атмосферные фронты, зоны облачности. А это, как раз именно то, что нужно для формирования достаточно подробных синоптических карт.

Интервал сканирования обуславливает точность разрешения. Система спутников «Арктика-М» работает и в видимом, и в инфракрасных диапазонах. В зимнее время года большую роль в рабочем процессе космического аппарата играет инфракрасный диапазон, поскольку в арктических регионах в этот период наступает полярная

ночь.

Помимо этого, спутник измеряет температуры с точностью до 0,1 градуса, осуществляет перенос данных между наземными метеорологическими станциями, а система «Коспас-Сарсат» ретранслирует сигналы от аварийных буев, которыми обеспечиваются в наши дни почти все суда. Чтобы наблюдения выполнялись круглые сутки, необходимо хотя бы два аппарата «Арктика-М».

Для чего же необходимо такое внимательное метеорологическое наблюдение за северными территориями? Прежде всего это нужно для того, чтобы составлять очень точные синоптические карты. В зимнее время года наиболее сильное влияние на состояние погоды оказывают именно арктические циклоны. Благодаря космическим спутникам системы «Арктика-М» появится возможность прогнозировать их приближение и появление намного точнее.

К тому же, исследование арктических регионов играет большую роль для ученых. Как сказывается глобальное потепление на арктических зонах? Насколько колеблется каждый год температура воздуха на северных территориях? Благодаря спутникам получится сформировать достаточно достоверные прогнозы для недалекого будущего и точнее понять процессы, которые происходят над Северным Ледовитым океаном.

Синоптическая обстановка в данной местности будет иметь большое значение и для бесперебойной работы Северного морского пути, благодаря которому ежегодно все более высокое количество судов переправляют газ и различные грузы. С помощью карты погоды этих земель можно будет выбрать лучшее время для проводки караванов, а также появится возможность наблюдать за общей ледовой ситуацией.

Помимо выполнения отслеживания земной погоды, космическая система «Арктика-М» имеет еще одно не менее важное назначение – мониторинг космической погоды. Спутник оснащен гелиофизическим комплексом. Специальная аппаратура даёт возможность наблюдать мощность потоков заряженных частиц в космосе. Схожие данные нужны для обеспечения эффективной работы космических аппаратов на орбите. Без этой информации спутники могут попадать под солнечные вспышки и попросту ломаться. Предсказывать бури в космосе тоже станет возможным при помощи "Арктики-М".

Список использованной литературы

1. <https://news.rambler.ru/science/45923573-rossiya-nachala-osvoenie-arktiki-s-pomoschyu-kosmosa>, – 02.04.2022г;
2. <https://www.vesti.ru/nauka/article/2545853>, – 02.04.2022г;
3. https://aif.ru/society/science/chto_predstavlyayut_soboy_sputniki_arktiki-m, – 02.04.2022г;

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАПИСИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИЗ КОСМОСА

*Симоненко Глеб Романович, Дикалова Валерия Александровна,
Дьяченко Наталия Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Рассматриваются физические ограничения, накладываемые на процесс записи информации на носители при дистанционном зондировании из космоса.

Ключевые слова: оптическая система, дифракция, носитель изображения, разрешение.

PHYSICAL PRINCIPLES OF IMAGE RECORDING DURING REMOTE SENSING FROM SPACE

*Simonenko Gleb Romanovich , Dikalova Valeria Alexandrovna ,
Dyachenko Natalia Vladimirovna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The physical limitations imposed on the process of recording information on media during remote sensing from space are considered.

Keywords: optical system, diffraction, image carrier, resolution.

Основным результатом космического зондирования является снимок, полученный с помощью технических средств и несущий информацию о собственном или отраженном излучении объектов. Классификация снимков может производиться по разным характеристикам и, соответственно, в каждом классе имеются свои ограничения, которые накладывают на процесс записи физические процессы. В данной работе рассматриваются ограничения, существующие в процессе получения изображения оптической системой и процессе записи этого изображения на носители для дальнейшей передачи потребителю.

По спектральному диапазону регистрируемого электромагнитного излучения снимки можно производить в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, в тепловом инфракрасном диапазоне и в радиодиапазоне. Особое внимание уделяется снимкам в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, т.к. они регистрируют отраженное от земной поверхности и прошедшее через атмосферу солнечное излучение и являются наиболее качественными изображениями с высоким пространственным разрешением.

Получение изображения сложной оптической системой, какой являются телескопы, встречает ряд трудностей[1]. Помимо различного рода aberrаций, связанных с прохождением лучей через участки линз, удаленных от оптической оси, а также обусловленных дисперсией в материале линз, ограничение накладывает дифракция. Из-за наличия дифракционных явлений точка изображается дифракционным кружком, что приводит к ограничению возможности различения тончайших деталей изображения. Принципиально не устранимое явление дифракции задает предел возможной разрешающей способности оптических приборов – способности прибора давать отдельное изображение двух близких точек предмета. Угловое разрешение телескопа θ (минимальное угловое расстояние двух точек, воспринимаемых как две) определяется формулой

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D},$$

где D – диаметр объектива, а λ – длина волны, на которой записывается изображение.

Регистрация оптического изображения в рассматриваемом диапазоне производится в основном на фотоэлементы, матрицы приборов с зарядовой связью, для которых, в свою очередь, тоже существуют ограничения по разрешающей способности.

Основной характеристикой изображения является обеспечиваемое линейное разрешение, характеризующее детальность получаемых данных [2].

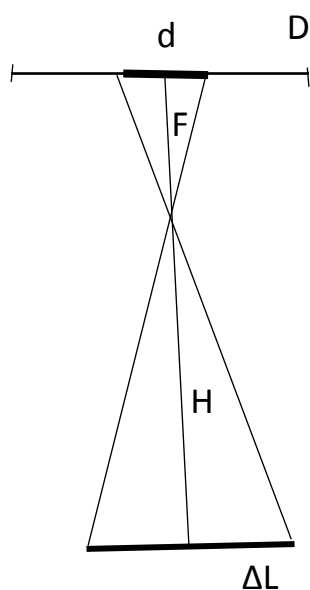


Рисунок 1 - Пояснение к линейному разрешению

На рис.1 представлена геометрическая интерпретация понятия «линейное разрешение». В идеале минимальный размер регистрируемого на Земле объекта ΔL должен быть равен проекции на Землю размера пиксела d . Из подобия треугольников следует, что

$$\Delta L = \frac{d \cdot H}{F},$$

где H – высота съемки, а F – фокусное расстояние оптической системы. Минимальный размер регистрируемого объекта ΔL зависит от разрешающей способности (R) изображения, складывающейся из разрешающей способности объектива ($R_{об}$) и регистрирующей среды ($R_{сп}$).

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{об}} + \frac{1}{R_{сп}}$$

В качестве регистрирующей среды широко используются матрицы приборов с зарядовой связью (ПЗС-матрицы). Стандартный ПЗС – это радиоэлектронная микросхема, на поверхности которой расположено небольшое окошечко, представляющее из себя двумерную матрицу из очень маленьких прямоугольных детекторов света, называемых пикселями. Каждый пиксел работает как копилка для электронов. Электроны возникают в пикселях под действием пришедших от источника световых квантов (фотонов). Во время

экспозиции каждый пиксел постепенно заполняется электронами пропорционально количеству попавшего в него света. По окончании съемки, накопленные каждым пикселем электронные заряды - измеряются и заносятся в память ЭВМ. На рис. 2 приведена схема работы пикселя. Пиксель состоит из р-



подложки, покрытой прозрачным диэлектриком, на который нанесен свето-пропускающий электрод, формирующий потенциальную яму. На него подается положительный потенциал. Свет, падающий на пиксель, проникает вглубь полупроводниковой структуры, образуя электрон-дырочную пару. Электрон и дырка растаскиваются полем — электрон попадает в зону хранения носителей (потенциальную яму), а дырки уходят в подложку.

Рисунок 2 - Схема устройства пикселя

Характеристиками пикселя являются спектральная чувствительность (определяется типом полупроводника), квантовый выход (количество электрон-дырочных пар, отнесенное к количеству упавших фотонов) и динамический диапазон (определяется отношением сигнал/шум). Размер пикселя связан с количеством накапливаемых электронов и, соответственно, с величиной сигнала, преобразуемого в пригодный для работы ЭВМ цифровой код. Однако большие размеры пикселя ухудшают разрешающую способность, хотя с ними и можно получить большой диапазон яркостей объектов.

Еще одна проблема, накладывающая принципиальные ограничения на регистрирующую среду в виде ПЗС-матриц, это шумы. Шумы могут быть случайными, а могут производиться самой матрицей. Если матрица производит больше электронов за счет своих внутренних свойств, чем производят фотоны от источника, то полезный сигнал "утонет в шуме" и получить качественное изображение исследуемого объекта будет невозможно. К внутренним шумам относятся термоэлектроны, высвобождающиеся в результате теплового движения, а также шумы считывания, возникающие при перемещении зарядов. Особенно важно уменьшение «темнового» шума при записи изображений в ближнем инфракрасном диапазоне, т.к. энергии квантов этого диапазона могут быть сравнимы с энергией высвобождения тепловых электронов. В связи с этим практически все современные астрономические ПЗС снабжены миниатюрными холодильниками, эффективно уменьшающими темновые шумы.

Список использованной литературы

1. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. // СПб: Университет ИТМО, – 2017. – 127 с.
2. Григорьев А.Н., Дудин Е.А., Коршунов Д.С., Октябрьский В.В. Концептуальная и аналитическая модели ведения оптикоэлектронной съемки с априорной экспонетрией на борту космического аппарата. Современные

проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.// – 2017.– Т. 14. – № 3. – С. 128–138.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ

*Соловых Алиса Дмитриевна, Симакина Татьяна Евгеньевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Показана многомерность информации, получаемой в результате спутниковой съемки земной поверхности и атмосферы в различных зонах электромагнитного спектра. Средствами современных геоинформационных систем выполнено синтезирование снимков видимого, ближнеинфракрасного и теплового инфракрасного диапазонов в модель RGB. Показана возможность исследования трехмерной структуры объектов атмосферы, а также их микрофизики на примере орографических облаков, возникающих за горными препятствиями.

Ключевые слова: орографические облака, подветренные волны, цветосинтезирование спектральных каналов

INTEGRATION OF SATELLITE INFORMATION IN VARIOUS ZONES OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM FOR THE STUDY OF WAVES IN THE ATMOSPHERE

*Solovykh Alice Dmitrievna., Simakina Tatiana Evgenievna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The multidimensionality of the information obtained as a result of satellite imagery of the Earth's surface and atmosphere in various zones of the electromagnetic spectrum is shown. By means of modern geoinformation systems, the synthesis of images of the visible, near-infrared and thermal infrared ranges into the RGB model was carried out. The possibility of studying the three-dimensional structure of atmospheric objects, as well as their microphysics, is shown by the example of orographic clouds arising behind mountain obstacles.

Keywords: orographic clouds, leeward waves, color synthesis of spectral channels

Современные мониторинговые спутниковые системы выполняют космическое наблюдение земной поверхности и атмосферы в видимом, тепловом, радиолокационном диапазонах спектра. Комплексирование информации в различных спектральных зонах позволяет повысить дешифрируемость объектов наблюдаемой сцены. Под комплексированием

понимают процесс объединения нескольких разнородных снимков с целью формирования нового изображения, на котором появляется дополнительная информация о структуре и свойствах наблюдаемых объектов.

Дешифрирование основано на различиях в спектральной яркости объектов съемки на многозональных снимках. Одно из условий выбора спектральных зон для съёмки требует, чтобы объекты на полученных изображениях различались по оптической плотности (уровню видеосигнала). Принцип многозональной съемки в радиодиапазоне реализуется при съемке в разных зонах пространственных частот и при различной поляризации излучения [4].

Разнородность объектов, которые возможно изучать с помощью разнотональных снимков, отражена в табл. 1. Здесь представлены спектральные каналы спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua [2]. Спектральный интервал съемки занимает диапазон от 0.41 до 14.0 мкм и включает 36 каналов в видимой, ближней, средней и дальней ИК зонах. Благодаря непрерывному сканированию и широкой полосе съемки, любая территория в пределах зоны видимости станции приема ежедневно снимается, как минимум, один раз. Это позволяет использовать данные MODIS для решения разнообразных задач по регулярному мониторингу природных явлений в пределах крупного региона.

На основе цифровой обработки снимков современными геоинформационными системами можно получать вторичные изображения, позволяющие изучать определенные объекты и явления. К таким тематическим продуктам относятся изображения индекса зеленой листовой площади растительного покрова LAI, индекса фотосинтетически активной радиации, поглощаемой растительностью FPAR. В настоящее время получают 44 вида производных изображений [5].

Таблица 1 - Каналы спектрорадиометра MODIS [2]

Группа каналов	Номер канала	Длина волны, мкм	Объект (предмет) исследования
Разрешение 250 м			
А	1	0.620-0.670	Контуры облаков и земных объектов
	2	0.841-0.876	
Разрешение 500 м			
Б	3	0.459-0.479	Свойства облаков и земных объектов
	4	0.545-0.565	
	5	1.230-1.250	
	6	1.628-1.652	
	7	2.105-2.155	

Группа каналов	Номер канала	Длина волны, мкм	Объект (предмет) исследования
Разрешение 1000 м			
В	8	0.405-0.420	Цвет, фитопланктон и биогеохимия океана
	9	0.438-0.448	
	10	0.483-0.493	
	11	0.526-0.536	
	12	0.546-0.556	
	11	0.526-0.536	
	12	0.546-0.556	
	13	0.662-0.672	
	14	0.673-0.683	
	15	0.743-0.753	
	16	0.862-0.877	
Г	17	0.890-0.920	Водяной пар
	18	0.931-0.941	
	19	0.915-0.965	
Е	20	3.660-3.840	Температура облаков и поверхности Земли
	21	3.929-3.989	
	22	3.929-3.989	
	23	4.020-4.080	
Ж	24	4.433-4.498	Температура воздуха
	25	4.482-4.549	
Д	26	1.360-1.390	Перистые облака, водяной пар
З	27	6.535-6.895	
	28	7.175-7.475	
	29	8.400-8.700	Свойства облаков
И	30	9.580-9.880	Озоновый слой
К	31	10.780-11.280	Температура облаков и поверхности Земли
	32	11.770-12.270	
Л	33	13.185-13.485	Высота верхней границы облаков
	34	13.485-13.785	
	35	13.785-14.085	
	36	14.085-14.385	

Комбинируя изображения отдельных излучательных и отражательных характеристик атмосферных систем, можно получить цветосинтезированное изображение с дополнительной информацией для анализа. Традиционно синтез спектральных каналов осуществляется на основе цветовой модели RGB (red, green, blue – красный, зеленый, синий) [6]. Поскольку яркости трех исходных спутниковых снимков заключены в интервале от 0 до 255, синтезирование их в цветовую модель RGB даст более 16 млн возможных цветов.

В данной работе выполнен поиск комбинаций спектральных снимков горных волн для синтезирования с целью извлечь больше информации о структуре объекта. Горные или орографические волны формируются за препятствиями и являются опасным видом атмосферных движений при эксплуатации воздушных судов [10]. Наибольшую опасность представляют волны, возникающие в сухом воздухе и не образующие облачности. Вследствие чего такие движения невидимы пилоту, они не отображаются на спутниковых снимках видимого диапазона [8]. Обнаружить «сухие» горные волны помогает привлечение снимков в каналах водяного пара [8, 9], а объединение таких снимков методами цифровой обработки позволяет исследовать вертикальную структуру области распространения тропосферных движений за горами.

На рис. 1 представлены нормированные весовые функции каналов спектро радиометра MODIS. Выделены спектральные диапазоны 6.2 мкм и 7.3 мкм, соответствующие полосам поглощения водяного пара. Парциальное давление и температура водяного пара в тропосфере растут по мере приближения к земной поверхности, что способствует увеличению спектрального интервала его полосы поглощения. Водяной пар имеет широкие и интенсивные полосы поглощения в инфракрасной области спектра. График пропускания атмосферы с широкой полосой поглощения водяного пара, на которую приходятся каналы MODIS 27 и 28, представлен на рис. 2. В области более 5 мкм происходит почти полное поглощение длинноволновой радиации водяным паром, за исключением окна прозрачности атмосферы 8—12 мкм [7].

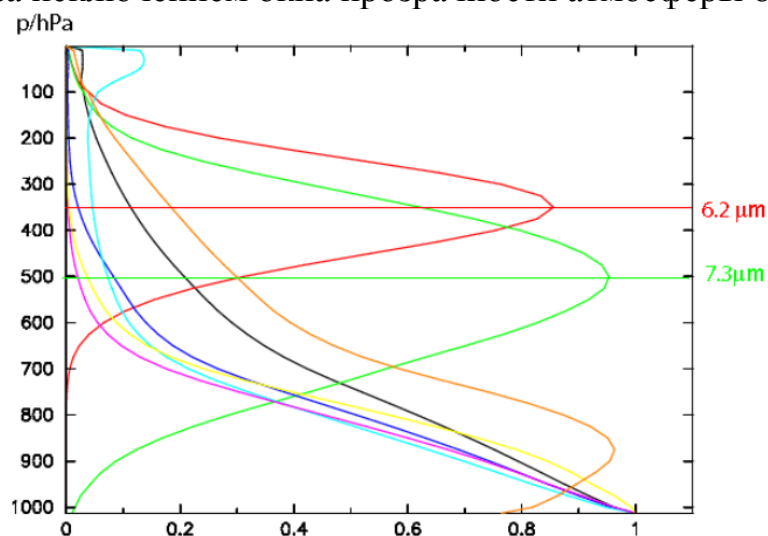


Рисунок 1 - Нормированные весовые функции спектральных каналов спутникового сканера [1]

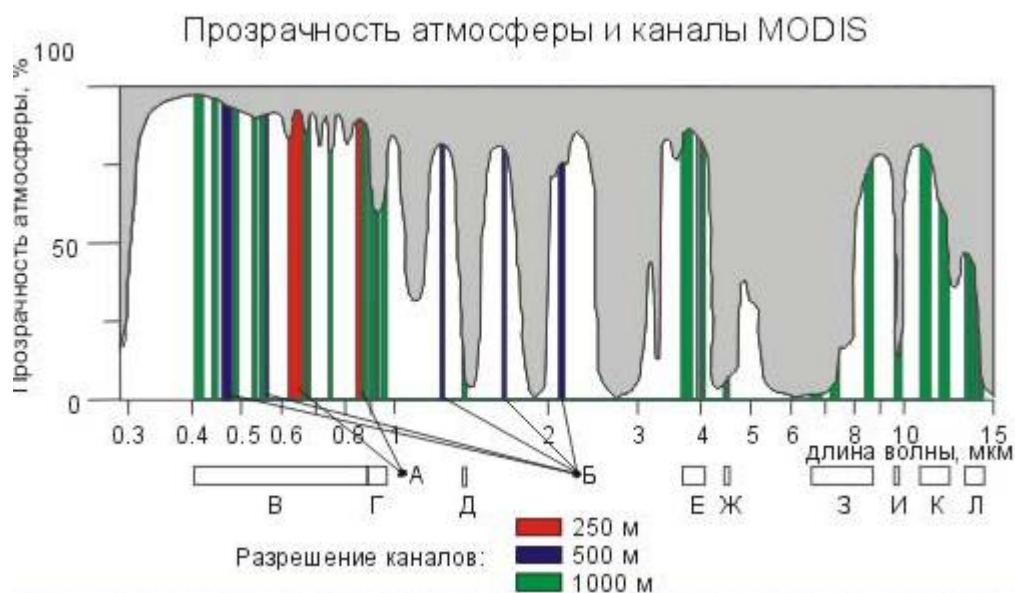


Рисунок 2 - Пропускание атмосферы и спектральные каналы MODIS

Примеры снимков в каналах MODIS 6.7 и 7.3 мкм показаны на рис. 3. На снимках в данных каналах не видно поверхности земли. Высоты максимумов весовых функций каналов водяного пара для средних широт соответствуют 350 гПа и 500 гПа. Поскольку в канале 6.2 мкм водяной пар сильно поглощает излучение нижних теплых и влажных слоев тропосферы, спутник получит сигналы только из верхних ее слоев. В канале 7.2 мкм поглощение слабее, поэтому излучение более низких уровней достигает спутника. Для канала 6.2 мкм наибольшая чувствительность, указывающая на способность обнаруживать разницу во влажности на разных высотах, заключена в диапазоне $200 - 600 \text{ гПа}^{-1}$, для канала 7.3 мкм от 400 до 740 гПа^{-1} .

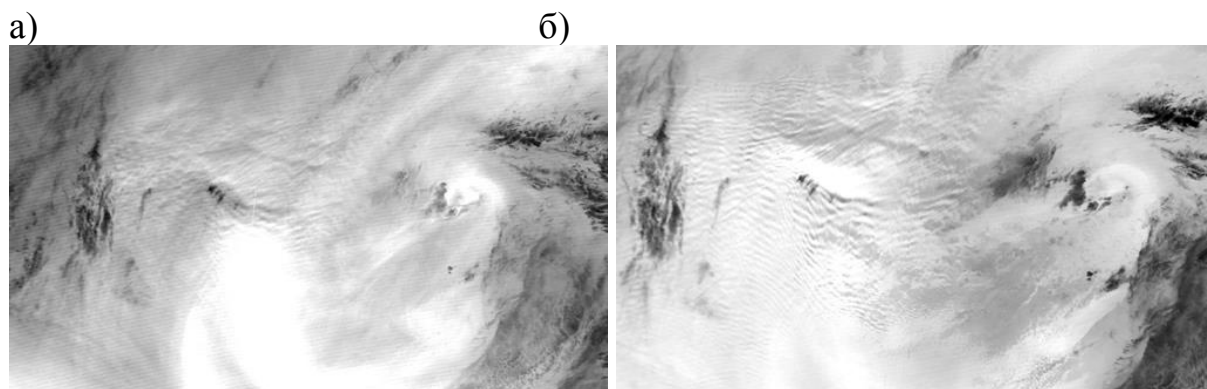


Рисунок 3 - Примеры снимков MODIS в спектральных каналах водяного пара на длине волны 6.7 (а) и 7.3 мкм (б)

В работе исследованы орографические волны, формирующиеся за горной системой Атлас на северной оконечности африканского континента. Район исследования представлен на рис. 4. Атласские горы служат барьером, отделяющим пустыню Сахара от средиземноморского бассейна. Ширина гор

более тысячи км, длина более двух тысяч км, высота самой высокой точки 4165 м [3]. Высота препятствия, а также скорость потока, ориентация горного хребта относительно потока, стратификация воздушной массы определяют характеристики подветренных волн.



Рисунок 4- Расположение горной системы Атлас

Сравнение спектрального альбеда и излучения в разных каналах удобно выполнять по одномерным профилям яркости [9]. Такие фотометрические разрезы представляют собой сечение снимка в фиксированном направлении. Направление вдоль распространения горных волн на снимке видимого диапазона отмечено белой линией на рис. 5. Построенные профили по данному направлению в каналах 0.86, 3.9 и 11.0 мкм представлены на рис. 6. Изменение яркости вдоль выбранного направления позволяет следить за динамикой подветренных волн при удалении от горной вершины, а также измерить длины волн. Белой линией выделено направление фотометрического разреза.

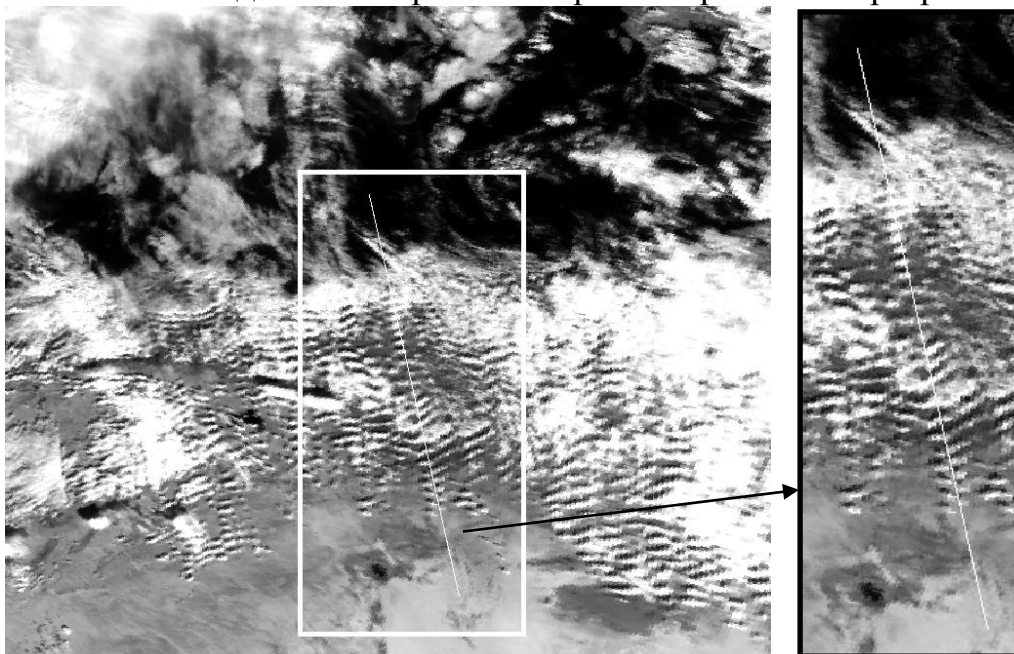
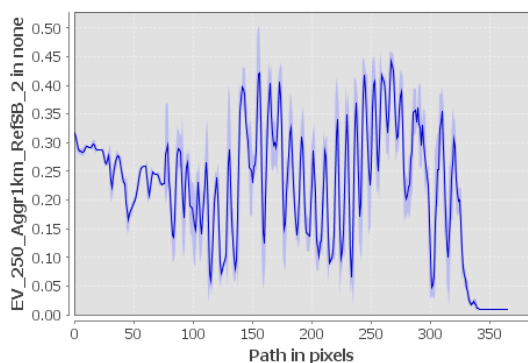


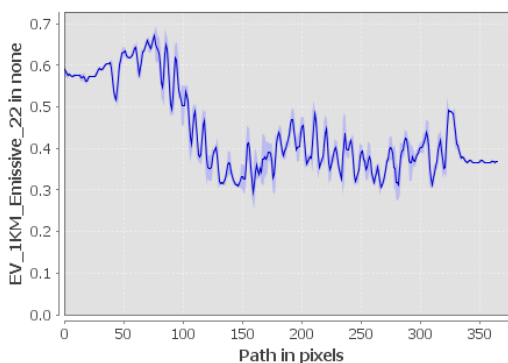
Рисунок 5 - Волновой процесс в стратифицированной атмосфере за Атласскими горами при обтекании их набегающим воздушным потоком с северо-запада

Profile Plot for EV_250_Aggr1km_RefSB_2



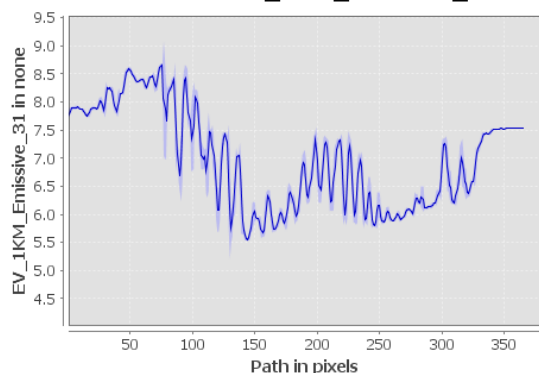
a)

Profile Plot for EV_1KM_Emissive_22



б)

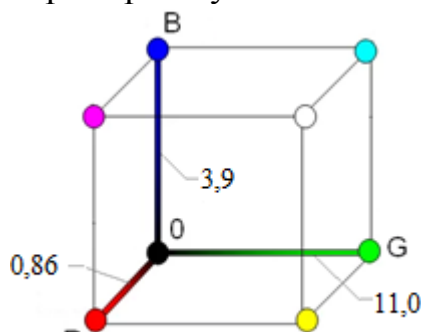
Profile Plot for EV_1KM_Emissive_31



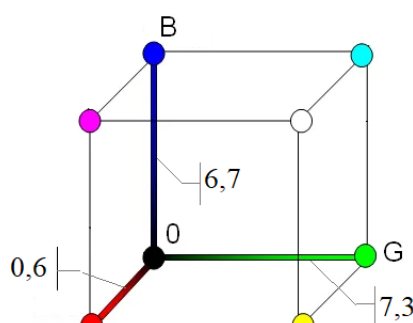
в)

Рисунок 6 - Фотометрические разрезы орографических облаков за горными вершинами Атласских гор по направлению, указанному на рис. 1 белой линией в каналах 0.86 (а), 3.9 (б) и 11.0 мкм (в)

Синтезирование информации трех каналов 0.86, 3.9 и 11.0 мкм в модель RGB – рис. 7а, - позволило интерпретировать микрофизику подветренных облаков. Пример полученной легенды представлен на рис. 8.

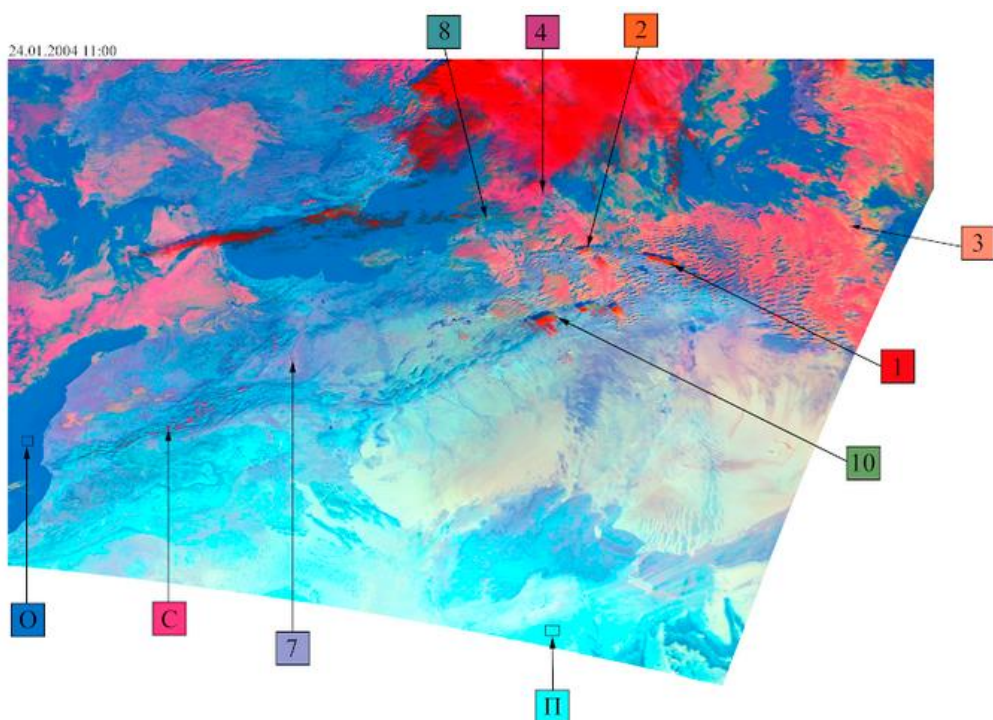


a)



б)

Рисунок 7- Комбинации спектральных каналов для исследования микрофизику орографических облаков (а), «невидимых» горных волн (б)



- | | | | |
|----------|---|-----------|--|
| 1 | Низкие дождевые облака (осадки
необязательно достигают
поверхности земли) – светлые,
оптически плотные, большие
кристаллы льда, холодные облака | 8 | Сверхохлажденные, оптически тонкие
капельные облака с содержанием
капель воды больших размеров |
| 2 | Оптически плотные, подветренные
облака на больших высотах с
малыми кристаллами льда | 9 | Сверхохлажденные, оптически тонкие
капельные облака с содержанием
капель воды малых размеров |
| 3 | Сверхохлажденные, оптически
плотные капельные облака –
светлые, оптически плотные,
капли воды больших размеров | 10 | Оптически тонкие перистые облака
(малые кристаллы льда) |
| 4 | Оптически плотные капельные
облака (теплые дождевые облака)
– светлые, оптически плотные,
капли воды больших размеров | 11 | Оптически тонкие облака с
содержанием капель воды малых
размеров |
| 5 | Сверхохлажденные, оптически
плотные капельные облака –
светлые, оптически плотные,
капли воды малых размеров | Р | Растительность |
| 6 | Оптически плотные капельные
облака (без выпадения осадков) –
светлые, оптически плотные,
капли воды малых размеров | П | Пустыня |
| 7 | Оптически тонкие облака с
содержанием капель воды
больших размеров | О | Океан |
| | | С | Снег/лёд |

Рисунок 8 - Цветосинтезированное изображение за 24.01.2004 11:00 UTC (RGB 0.86, 3.9, 11.0 мкм)

Для идентификации «невидимых» орографических волн лучшей комбинацией спектральных каналов спектрорадиометра MODIS в цветовую модель RGB оказалась следующая (см. рис. 7б): значения яркостей, обусловленные отражаемостью сигнала на длинах волн около 0,6 мкм, управляют компонентой R (оттенками красного), обусловленные излучением водяного пара средней тропосферы на 7,3 мкм – компонентой G (оттенками зеленого), верхней тропосферы на 6,7 мкм – компонентой B (оттенками синего).

Таким образом, оттенок орографических волн на цветосинтезированном изображении будет показателем их мощности. На небольшой по размеру слой распространения волн около 3-4 км, в пределах средней тропосферы указывает зеленый цвет, обусловленный преобладанием мощности излучения в канале 7,3 мкм. Небольшие доли излучения в канале 6,7 мкм и тем более отражения в 0.86 не вносят существенный вклад в результирующий цвет. Пример таких волн представлен на рис. 9.

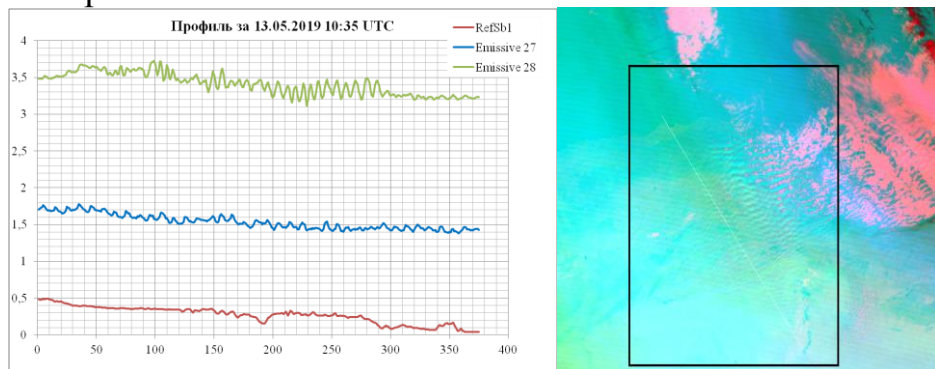


Рисунок 9 - Фотометрические разрезы и цветосинтезированное изображение мелких «невидимых» орографических волн за 13.05.2019 10:35 UTC (RGB 0.86, 3.9, 11.0 мкм)

Если вертикальные движения возникнут только в верхней тропосфере, цвет на синтезированном изображении должен будет стать синим, поскольку значения красной и зеленой компонент невысокие.

В случае большой вертикальной мощности волновых движений и распространении их на всю тропосферу, значения вклада зеленой и синей компоненты будут более близкими, что в результате даст голубой цвет на синтезированном изображении. Пример таких волн представлен на рис. 10.

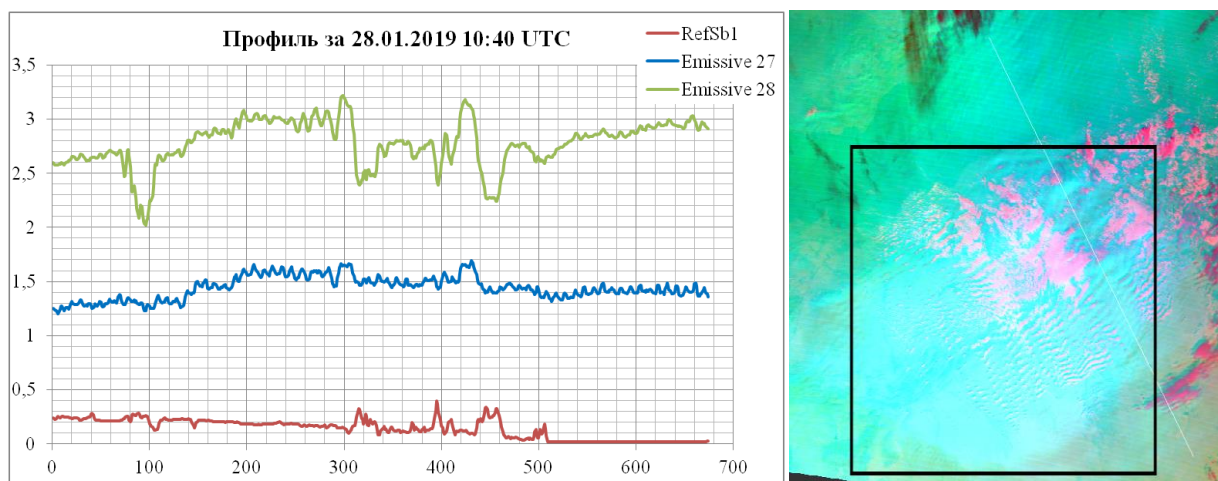


Рисунок 10 - Фотометрические разрезы и цветосинтезированное изображение мощных «невидимых» орографических волн за 28.01.2019 10:40 UTC (RGB 0.86, 3.9, 11.0 мкм)

В условиях достаточной относительной влажности и, вследствие этого, формирования облачности цвет облаков в гребнях горных волн на синтезированном изображении будет светлым. Чем выше плотность и толщина облачного слоя, тем ближе цвет к белому.

Длины орографических волн за Атласскими горами, измеренные по снимкам в пароводяных каналах на основе фотометрических разрезов, варьируют от 3 до 10 км.

Заключение

Таким образом, предлагаемый подход к комплексированию видимых и пароводяных спутниковых снимков позволяет получить дополнительные возможности улучшения качества идентификации типов орографических волн, исследовать их область распространения. Цветное изображение является более информативным продуктом для восприятия человеческим зрением по сравнению с полутоновыми и позволяет «измерить» вертикальную структуру наблюдаемых объектов.

Список использованной литературы

1. EUMeTrain: Water Vapour CAL Module – URL: <http://www.eumetrain.org/data/3/33/channels3.htm> (дата обращения 27.12.2021).
2. Remer L.A. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation // J. Atmos.Sci. – 2005. – Vol.62. – Pp. 947–973.
3. Атлас (горы) [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия.— Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлас_\(горы\)#cite_ref-4](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлас_(горы)#cite_ref-4) (дата обращения 27.12.2021).
4. Лебедев С. А. Введение в дистанционные методы зондирования Земли // Одиннадцатая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, – 16 - 20 марта 2020 г. – 127 с.
5. Межуниверситетский аэрокосмический центр при Географическом

факультете МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentor/int_sem4/modis.htm. – Съёмочные системы на борту Terra: ASTER, MODIS, MISR, CERES, MOPITT. – (Дата обращения: 21.03.2022)

6. Симакина Т.Е. Получение и обработка спутниковых снимков. СПб.: Изд-во РГГМУ. – 2010. – 104 с.

7. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной оптики: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Физический ф-т СПбГУ, 2007. – 152 с.

8. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Куроплина В.И. Дешифрирование "невидимых" топографических волн по данным спутниковой съемки в каналах водяного пара. В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 173-174.

9. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В. Применение спутниковой съемки в каналах водяного пара при дешифрировании горных волн // Материалы V научно-технической конференции «Проблемы военной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб, – 23 – 25 мая 2018 г. – С. 736 – 739.

10. Энциклопедия безопасности авиации /под ред. Н.С. Кулика. – Киев: Техника, – 2008. – 1000 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ПАДЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Петрова Вера Валерьевна, Бровкина Екатерина Анатольевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено изменение температуры в атмосфере с ростом высоты при различных начальных условиях. От этого зависит атмосферное давление и, как следствие, характер протекания метеорологических процессов.

Ключевые слова: идеальный газ, давление идеального газа, линейное падение температуры.

CHANGE IN ATMOSPHERIC PRESSURE WITH A LINEAR DROP IN TEMPERATURE

Petrova Vera Valeryevna, Brovkina Ekaterina Anatoljevna
Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia

Annotation. The article considers the change in temperature in the atmosphere with increasing altitude under different initial conditions. Atmospheric pressure and, as a consequence, the nature of meteorological processes depend on this.

Keywords: ideal gas, ideal gas pressure, linear temperature drop.

Как известно, погодные явления у земной поверхности непосредственно влияют на хозяйственную деятельность человека, в особенности на сельское хозяйство. Погода в более высоких слоях атмосферы непосредственно связана с авиацией, вследствие чего существует такой раздел науки, как авиационная метеорология. Атмосферные явления на разных высотах связаны между собой, поэтому необходимо изучение всего атмосферного слоя толщиной 30-40 километров.

Авиационная метеорология чрезвычайно важна в первую очередь потому, что самые важные авиационные операции – взлет и посадка самолетов – самым тесным образом связаны с погодными условиями. Таким образом правильная оценка метеоусловий обеспечивает безопасность пассажиров. Более долгосрочные прогнозы способны обеспечить регулярное авиасообщение, что не менее важно.

Известно, что при увеличении высоты подъема происходит падение температуры, причем этот перепад различен при разных начальных условиях на поверхности Земли. Это делает невозможным сравнение испытаний,

проводящихся при различных условиях, и приводит к необходимости введения так называемой стандартной атмосферы [1,2].

Падение температуры в свою очередь влияет на атмосферное давление, а изменение и давления и температуры важны для значений воздушной скорости, аэродинамических характеристик, тяги двигателя и расхода топлива [3,4,5].

Рассмотрим задачу об изменении давления в атмосфере с ростом высоты, предполагая, что температура зависит от высоты линейным образом, уменьшаясь на l градусов на каждый километр. Пусть на уровне моря начальная температура T_0 . Тогда легко вывести зависимость температуры от высоты z .

$$T = T_0 - \frac{l}{10^3} z. \quad (1)$$

Считаем атмосферу идеальным газом, тогда для неё верно уравнение состояния идеального газа

$$\frac{p}{\rho} = \frac{R}{M} T,$$

где p - давление, ρ - плотность, $R = 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ - универсальная газовая постоянная, $M = 0.029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ - молярная масса воздуха. Или, если выразить плотность

$$\rho = \frac{M}{R} \cdot \frac{p}{T}. \quad (2)$$

Как известно из гидростатики, если при подъеме учитывать влияние только силы тяжести, уравнение движения газа даст нам следующую систему уравнений для вычисления давления [6,7]

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g. \end{cases}$$

Таким образом, давление не зависит от координат x, y , а для определения зависимости давления от высоты z надо решить дифференциальное уравнение (подставим в третье уравнение системы формулы (1), (2)):

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{Mg}{R} \frac{p}{T_0 - \frac{l}{10^3} z}.$$

Разделяя переменные, получим

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{R} \frac{dz}{T_0 - \frac{l}{10^3} z}.$$

Интегрирование уравнения даст нам формулу

$$\ln p = \frac{Mg}{R} \frac{10^3}{l} \ln \left(T_0 - \frac{l}{10^3} z \right) + \ln C.$$

Или

$$p = C \cdot \left(T_0 - \frac{l}{10^3} z \right)^{\frac{Mg 10^3}{R l}}. \quad (3)$$

Константу C определяем из начальных условий. Пусть при $z = 0$ $p = p_0$.

Тогда

$$C = \frac{p_0}{T_0^{\frac{Mg 10^3}{R l}}}.$$

Подставляя полученное выражение в формулу (3) и немного упростив, получим

$$p = p_0 \left(1 - \frac{l}{T_0 \cdot 10^3} z \right)^{\frac{Mg 10^3}{R l}}. \quad (4)$$

Это зависимость давления от высоты при линейном падении температуры от значения T_0 на l градусов на каждый километр. Можно исследовать, насколько сильно падает давление при различных l , если T_0 и p_0 постоянны. Пусть $p_0 = 100 \text{ кН/м}^2 = 10^5 \text{ Н/м}^2$, $T_0 = 20^\circ \text{C} = 283 \text{ К}$. Значения l меняются от 4°C до 10°C с шагом 2°C . Результаты вычислений по формуле (4) приведены в таблице.

Таблица 1 - Атмосферное давление на различных высотах в зависимости от режима падения температуры

$z, \text{ км}$	$l = 4^\circ \text{C}$ $p, \text{ кН/м}^2$	$l = 6^\circ \text{C}$ $p, \text{ кН/м}^2$	$l = 8^\circ \text{C}$ $p, \text{ кН/м}^2$	$l = 10^\circ \text{C}$ $p, \text{ кН/м}^2$
0	100	100	100	100
1	88.3	88.2	88.2	88.2
2	77.8	77.7	77.5	77.4
3	68.4	68.2	67.8	67.6
4	60.1	59.6	59.2	58.7
5	52.6	52.0	51.3	50.6
6	46.0	45.2	44.3	43.4
7	40.2	39.2	38.1	36.9
8	35.0	33.9	32.6	31.2

9	30.4	29.1	27.7	26.2
10	26.4	24.9	23.4	21.7
11	22.8	21.2	19.6	17.9
12	19.7	18.0	16.3	14.5

Полученные результаты нанесены на приведенный ниже график. По горизонтальной оси отложена высота z в километрах, по вертикальной – давление p в $\text{кН}/\text{м}^2$. Видно, что от шага l изменения температуры давление зависит слабо. На небольших высотах зависимости вообще почти нет, а при большой высоте различие незначительно. Таким образом, если считать, что температура с ростом высоты падает линейным образом, целесообразно брать средний шаг $l = 6 - 6.5^\circ\text{C}$. Полученные результаты дадут вполне адекватную картину изменения давления с ростом высоты.

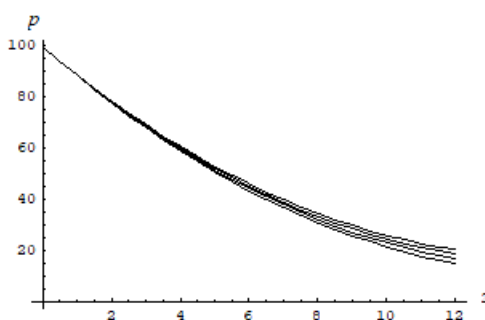


Рисунок 1 - Зависимость атмосферного давления от высоты при различных режимах падения температуры

Исследования, проведенные в данной статье, применимы в авиационной метеорологии. Они позволяют рассчитать температуру, а, следовательно, и давление в атмосфере при различных высотах. От этих характеристик атмосферы зависит режим полета воздушных судов, правильное их определение напрямую влияет на безопасность полетов [8,9].

Список использованной литературы

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т. 1, – 1948.
2. Калекин А.А. Основы гидравлики и теоретической гидромеханики. Изд. «Мир», – 2008.
3. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Основы метеорологии. СПб, изд. РГГМУ, – 2006.
4. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. СПб, изд. РГГМУ, – 2005.

5. Хромов С.П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. М., изд. «Наука», – 2006.
6. Солянин В.Е. Краткий курс авиационной метеорологии. М.: Авиабизнес, – 2010.
7. Быков Л.В., Молчанов А.М., Щербаков М.А. Вычислительная механика сплошных сред в задачах авиационной и космической техники. URSS, – 2019.
8. Петров К.П. О достижениях аэродинамики летательных аппаратов. URSS, – 2000.
9. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч.1,2. URSS, – 2012.

К РЕШЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ЗАДАНЫМ АСИМПТОТИЧЕСКИМ ПОВЕДЕНИЕМ РЕШЕНИЯ.

Фадеев Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Предлагается метод решения дифференциального уравнения второго порядка без первой производной с заданным асимптотическим поведением решения; метод применяется для расчета нулей функции Йоста в четвертом квадранте комплексной плоскости импульсов; нули функции Йоста в этой области соответствуют резонансам для одночастичного уравнения Шредингера; метод может быть применен для определения параметров потенциалов межмолекулярных взаимодействий.

Ключевые слова: короткодействующий потенциал, резонанс, функция Йоста.

ON SOLVING DIFFERENTIAL SECOND ORDER EQUATION WITH REQUIRED ASYMPTOTICS OF SOLUTION

Fadeev Sergei Nickolaevich

*Russian State Hydrometeorological University,
Saint Petersburg, Russia*

Annotation. The method of solving of second order differential equation without first derivative with predefined solution asymptotic is proposed; the method is applied to finding of Jost function zeroes in fourth quadrant of the complex k -plane; zeroes in this region correspond to resonances for single particle Schrödinger equation; the method can be applied to definition of intermolecular potential parameters.

Keywords: short range potential, resonance, Jost function.

В данной работе рассматривается уравнение

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + k^2 - V(r) \right) y(r) = 0, \quad (1)$$

которое является радиальным уравнением Шредингера, описывающим рассеяние составных частиц, взаимодействующих посредством потенциала $V(r)$. Потенциал $V(r)$ является суммой короткодействующего потенциала, кулоновского и центробежного потенциалов. Входящий в уравнение (1) короткодействующий потенциал может быть межмолекулярным потенциалом

или ядро-ядерным потенциалом. Уравнение может быть дополнено нелокальным сепарабельным взаимодействием вида

$$U(r) = \sum_{n=0}^N u_n(r) \int_0^{\infty} y(r) u_n(r) dr, \quad (2)$$

которое учитывает короткодействующие обменные корреляции при потенциальном рассеянии фрагментов, обладающих внутренней структурой.

Точный вид короткодействующего потенциала, как правило, не известен. Обычно его параметризуют определенным образом с последующей подгонкой параметров под энергии связанных состояний и/или энергии резонансов. Знание, например, межмолекулярного потенциала имеет важное значение для понимания физико-химических процессов в атмосфере. Заметим здесь, что методы квантомеханической теории рассеяния могут быть использованы в теории акустического рассеяния, и, в частности, в теории радиационного давления [1].

Часто положение резонанса определяют по фазе рассеяния как функции энергии E (предполагается, что в резонансе фаза рассеяния принимает значение $\pi/2$) или по положению максимума парциального сечения как функции E . Однако такие способы не являются надежными, так как не учитывают фоновый фазовый сдвиг [2].

В целом предлагаемый здесь подход поиска резонансов как нулей функции Иоста близок к методу поиска полюсов Редже при фиксированной энергии для нерелятивистского уравнения Шредингера [3]. Отличия заключаются в методе численного интегрирования радиального уравнения (1) и в методе расчета кулоновских волновых функций комплексного аргумента, входящих в асимптотическое выражение для $y(r)$ [4]. Мы ищем волновую функцию $y(r)$ как решение уравнения (1) при комплексном k с заданными граничными условиями в нуле и на асимптотике, т.е. при r превышающим расстояние r_A на котором можно пренебречь короткодействующим потенциалом.

Из решения уравнения (1) при комплексном значении k извлекается функция Иоста. Энергия и ширина резонанса определяются естественным образом через действительную и мнимую части положения нуля функции Иоста в комплексной плоскости энергий.

В качестве тестовой задачи для рассматриваемого здесь метода вычислены положения и ширины квазимолекулярных состояний отрицательной четности ядра ^{16}O , имеющих кластерную структуру $\alpha + ^{12}\text{C}$.

При $r = 0$ функция $y(r)$ равна нулю. В области $r \geq r_A$ $y(r)$ волновая функция является суперпозицией линейно независимых решений $H^{\pm}$ уравнения (1) при $r \rightarrow \infty$:

$$y(r) \rightarrow \frac{i}{2} (H^-(kr) - S(k)H^+(kr)), \quad r \rightarrow \infty, \quad (3)$$

где $S(k)$ можно рассматривать как коэффициент разложения решения по функциям $H^\pm$. В задачах рассеяния S – элемент S-матрицы для заданного значения квантового числа l углового момента (здесь и далее индекс l у соответствующих величин опущен), $H^\pm = G \pm iF$, F, G – регулярная и нерегулярная кулоновские функции для данного l . Для незаряженных частиц функции $F, G, H^\pm$ являются функциями Рикатти–Бесселя, Рикатти–Неймана, Рикатти–Ханкеля соответственно. Вычисление кулоновских волновых функций при комплексных значениях аргумента основано на представлении отношений $F'(z)/F(z)$, $G'(z)/G(z)$, $H^{\pm'}(z)/H^\pm(z)$ в виде цепных дробей [5].

В стандартных задачах по определению состояний рассеяния правое граничное условие задается совершенно произвольно, что позволяет получить волновую функцию только с точностью до произвольного числового множителя. Элемент S-матрицы извлекается из «ненормированного» решения путем «сшивки» его с заданной асимптотикой по двум точкам. Но рассматриваемый здесь метод определения функции Иоста требует нахождения волновой функции со вполне определенной асимптотикой.

Граничное условие на правом конце запишем в виде

$$W(H^+, y) = k, \quad (4)$$

где $W(f, g) = f'g - fg'$ – вронскиан с дифференцированием по радиальной переменной r .

Численное решение краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка без первой производной может быть получено методом Нумерова с точностью $O(h^4)$ [6], h – шаг интегрирования. Основную расчетную формулу можно представить в виде:

$$y_i = a_i y_{i+1} + b_i, \quad i = 0, 1, \dots, n-1. \quad (5)$$

где индекс i нумерует узлы сетки. Число шагов интегрирования n выбирается так, чтобы $nh > r_A$. Комплексные коэффициенты a_i, b_i удовлетворяют рекуррентным соотношениям с начальными значениями $a_0 = (0,0)$, $b_0 = (0,0)$. Выбор нулевого значения для b_0 диктуется нулевым граничным условием для $y(r)$ при $r = 0$: $y_0 = (0,0)$. Определив значения a_i, b_i определяем далее значения y_i , двигаясь от асимптотики к $r = 0$.

Применение соотношений (5) требует знания волновой функции в какой либо точке асимптотики. Записав граничное условие (4) в разностном представлении с j -точечной аппроксимацией для первой производной, получим уравнение с неизвестными $y_{n-j+1}, y_{n-j+2}, \dots, y_n$. Дополнив это уравнение $j-1$ соотношениями (5) получим систему уравнений для однозначного определения решения в заданной точке на асимптотике. В наших расчетах выбиралось 5-точечное представление для первой производной.

Рассмотрим решение $\phi(r)$ уравнения (1), определяемое поведением при $r \rightarrow 0$ [2]:

$$\varphi(r) \rightarrow F(r), r \rightarrow 0. \quad (6)$$

Функция $\varphi(r)$ называется регулярным решением радиального уравнения (1). Регулярное решение имеет асимптотику

$$\varphi(r) \rightarrow \frac{i}{2} \left(f(k) H^-(kr) - f^*(k) H^+(kr) \right), r \rightarrow \infty. \quad (7)$$

где $f(k)$ называется функцией Иоста. Сравнивая (3) и (7) видим, что

$$S(k) = \frac{f^*(k)}{f(k)}, \quad (8)$$

а

$$f(k) = \frac{\varphi(r)}{y(r)} \quad (9)$$

Резонансы соответствуют нулям функции Иоста и, следовательно, полюсам S -матрицы в первой четверти комплексной плоскости импульсов.

Значение функции Иоста вблизи нуля может быть найдено в виде ряда по степеням комплексной переменной $z = kr$ [3]:

$$\varphi(r) = z^l \sum_n c_n z^{2n}. \quad (10)$$

Коэффициенты в данном соотношении получаются из достаточно простых рекуррентных соотношений, в которые входят значения короткодействующего потенциала вблизи нуля.

Проинтегрировав (1) и определив решение $y(r)$ при $r = h$, из соотношения (9) получим $f(k)$.

При включении в уравнение нелокального взаимодействия (2) методика вычислений остается прежней.

Как тестовая задача рассмотренного метода, рассчитаны энергии и ширины одночастичных резонансов, представляющих кластерные конфигурации $\alpha + {}^{12}\text{C}$ ядра ${}^{16}\text{O}$ (ядро ${}^{12}\text{C}$ в основном состоянии). Результаты вычислений и экспериментальные данные [7] приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состояние	Энергия эксп., МэВ	Ширина, эксп., КэВ	Энергия вычисл., МэВ	Ширина, вычисл., КэВ
1^-	9,63	510 ± 60	9,63	415
3^-	11,60	800 ± 100	11,65	718
5^-	14,60	480 ± 100	14,60	344

Список использованной литературы

1. Шарфарец Б.П. Свойства общей и парциальных амплитуд рассеяния, а также дисперсионные соотношения в квантовой механике. Ч. I. свойства парциальных амплитуд рассеяния (обзор) // Научное приборостроение. – 2012. – Т. 22. – № 1. – С. 5-2.

2. Тейлор Дж. Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений / М.: Мир, – 1975. – 567 с.
3. Takemasa T., Tamura T., Wolter H.H. Complex angular momentum methods for elastic scattering with an optical potential // Comput.Phys.Comm. – 1979. – V. 18. – Pp. 427-440.
4. Гриднев К.А., Фадеев С.Н., Семенов В.М. К расчету параметров одночастичных резонансов // Изв.РАН. Серия физич. –2003.– Т.67. – С. 94-97.
5. Thompson I.J., Barnett A.R. COULCC: A continued-fraction algorithm for Coulomb functions of complex order with complex arguments // Comput.Phys.Comm. – 1985 – . V.36. – Pp.363–372.
6. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, – 2008. – 636 с.
7. Метод ортогональных условий и аномальное обратное рассеяние / С.Саад и др. // Изв АН СССР. Серия физич. – 1985. – Т. 49. – С. 178-183.

Содержание

1. Современные информационные геотехнологии и системы безопасности	4
<i>Александрова А.В., Власов А.Д., Славин Я.А.</i> Исследование динамики патентования в области метеорологии	4
<i>Грозмани Е.С., Петров С.В.</i> Управление процессами обеспечения информационной безопасности киберфизических систем	8
<i>Домостроева А.А., Бурлов В.Г.</i> Информационная система управления теплоснабжением и горячим водоснабжением в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов	16
<i>Завгородний В.Н.</i> Формализация количественной оценки георисков	26
<i>Матюхин Д.С., Пашенцев А.А., Русскин В.Д.</i> О применении голосовых помощников в образовании	31
<i>Миронов А.Ю.</i> Геоинформационное управление циклом производства по делам об административных правонарушениях	40
<i>Ндикумана Э.</i> Применение QGIS для мониторинга сельскохозяйственных рисков в Республике Бурунди	47
<i>Полюхович М.А.</i> О роли геоинформационной системы в прогнозировании обледенения воздушных линий электропередач	58
<i>Романова А.Д.</i> Применение искусственного интеллекта в промышленности	63
<i>Селезнёва А.С.</i> Технология информационного моделирования в геотехнике	69
<i>Солиман Х. , Украинцева Д.А., Бурлов В.Г.</i> Сравнение метода анализа нечеткой логики и классической логики при определении наиболее подходящих мест в среде ГИС	74
<i>Тюрина О.Д.</i> Применение NoSQL при построении геоинформационных систем	86
<i>Украинцева Д.А., Грызунов В.В.</i> Методы обнаружения кибератак с помощью машинного обучения	92
2. Прикладные аспекты высшей математики и теоретической механики в инфокоммуникационных технологиях	97
<i>Баранов О.А., Мартын И.А.</i> Анализ уровня безработицы субъектов российской федерации на основе алгоритмов машинного обучения	97
<i>Башикиров Л.Н., Покровский О.М.</i> Оценки влияния колебаний температуры поверхностных вод Северной Атлантики на изменения температуры воды и концентрации льда в субарктической зоне северного ледовитого океана	103
<i>Беликова Г.И., Бровкина Е.А.</i> Математика, история, студенты	109

<i>Беликова Г.И., Степанова Д.А.</i> Пётр I и математика	118
<i>Литуновский И.Н.</i> Уравнения Максвелла на языке внешних дифференциальных форм	122
<i>Малафеев О.М., Рединских Н.Д., Зайцева И.В., Кефели И.Ф., Безруких В.Ю.</i> Информационные потери при регулярном функционировании структур	129
<i>Малафеев О.А., Кирьянен А.И., Зайцева И.В., Скворцова О.И., Гурнович Т.Г., Шлаев Д.В.</i> Существование и устойчивость равновесного состояния взаимодействия между предприятиями	136
<i>Малафеев О.А., Колесин И.Д., Шлаев Д.В., Орел Ю.В., Поддубная Н.В.</i> Исследование распределения трудовых ресурсов по инвестиционным проектам методами математического моделирования	147
<i>Покровский О.М.</i> Естественные колебания климата и их связь с экономическими циклами Кондратьева	151
<i>Семиделова А.О., Трофимов В.Д., Покровский О.М.</i> Влияние режима межгодовых и многодесятилетних вариаций температуры мирового океана на изменчивость индекса североатлантического колебания	157
<i>Честнов А.И., Акилов Е.В.</i> Расчёт среднеквадратичного отклонения пошагово посредством СУБД и программной системой GNU Octave	164
3. Морские информационные системы и технологии	170
<i>Абрамов В.М., Голосовская В.А., Санина Ю.П., Честнов А.И., Барина К.А., Босавин И.Н., Простакевич К.С., Саватеев Н.Н., Абрамова А.Л.</i> Цифровизация геоинформационного обеспечения исследований гидрометеорологических и океанографических процессов в Арктике	170
<i>Березкин А.А.</i> Тенденции безэкипажного судоходства и факторы его развития	174
<i>Канарёв И.П.</i> Анализ электронavigационных средств, применяемых при плавании в Арктических водах	179
<i>Канарёв И.П.</i> Расчет времени, необходимого для расхождения судов в каналах и узкостях	187
<i>Шабанов А.И.</i> Разработка модели оптимального распределения судов на основе методов динамического программирования для проведения работ по гидрографической съёмке рельефа дна в Баренцевом море	192
4. Физические основы информационных систем и геотехнологий	198
<i>Вьюгина Е.И., Яковлева Т.Ю.</i> Анализ мониторинга радиационной обстановки Санкт-Петербурга и его связь с геоинформационными технологиями	198
<i>Киселева Е.М.</i> Использование индексов для обнаружения водных	202

объектов на многоспектральных спутниковых снимках	
<i>Мухамедшин М.И., Шишкин А.Д., Герасименко Н.И.</i> Хаос динамических систем	209
<i>Потапова И.А., Тиханов А.В.</i> Влияние солнечного излучения на определение коэффициента ослабления для слабо замутнённой атмосферы при лидарных измерениях	216
<i>Селявко Д.Д., Герасименко Н.И.</i> Методы упрощения для одномерных волновых процессов. Итерационный способ получения эволюционных уравнений	222
<i>Селявко Д.Д., Ягнюков С.А., Яковлева Т.Ю.</i> Российские спутники «Арктика-М» для наблюдения за полярными областями	226
<i>Симоненко Г.Р., Дикалова В.А., Дьяченко Н.В.</i> Физические принципы записи изображений при дистанционном зондировании из космоса	229
<i>Соловых А.Д., Симакина Т.Е.</i> Комплексирование спутниковой информации в различных зонах электромагнитного спектра для исследования волн в атмосфере	233
<i>Петрова В.В., Бровкина Е.А.</i> Изменение давления в атмосфере при линейном падении температуры	244
<i>Фадеев С.Н.</i> К решению дифференциального уравнения второго порядка с заданным асимптотическим поведением решения	249

Научное издание

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Сборник трудов
Всероссийской научно-практической конференции
«Инновационное развитие информационных систем и технологий
в гидрометеорологии»

12 апреля 2022 года

Печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 01.07.2022. Формат 60×90 1/16. Гарнитура
Times New Roman. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16. Тираж 10 экз. Заказ № 1234.
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79.