

ISSN 2313-4372
eISSN 2949-432X

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЫПУСК 12

Т Р У Д Ы

Поволжского государственного технологического университета

Серия Технологическая



Йошкар-Ола
2024

УДК 62
ББК 3
Т 78

Ответственный и научный редактор сборника –
Иванов Д. В., проректор ПГТУ по научной работе,
член-корреспондент Российской академии наук,
профессор, доктор физико-математических наук

Редакционная коллегия серии:

Алибеков С. Я., доктор технических наук, профессор
Денисов С. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Егошина И. Л., доктор технических наук, профессор
Котлов В. Г., доктор технических наук, доцент
Курбанов Э. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Павлов А. И., доктор технических наук, профессор
Роженцов А. А., доктор технических наук, профессор
Романов Е. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Рябова Н. В., доктор физико-математических наук, профессор
Сидоркина И. Г., доктор технических наук, профессор
Ширнин Ю. А., доктор технических наук, профессор

Труды Поволжского государственного технологиче-
Т 78 **ского университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 12 / отв. и
науч. ред. Д. В. Иванов. – Йошкар-Ола: Поволжский государ-
ственный технологический университет, 2024. – 92 с. URL:
[https://science.volgatech.net/upload/documents/sci-
ence/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B4%D1%8B%20%D0%9F%D0%93%D0%A2%D0%A3.%20%D0%A2%D0%B5%D1%85.%2020.11.2024%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3.pdf](https://science.volgatech.net/upload/documents/science/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B4%D1%8B%20%D0%9F%D0%93%D0%A2%D0%A3.%20%D0%A2%D0%B5%D1%85.%2020.11.2024%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3.pdf)

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62
ББК 3

ISSN 2313-4372
eISSN 2949-432X

© Поволжский государственный
технологический университет, 2024

ПРЕДИСЛОВИЕ

Поволжский государственный технологический университет – Волгатех является в регионе одной из ведущих площадок по подготовке кадров, проведению научных исследований и разработок в области рационального природопользования, инфо-телекоммуникационных технологий, наноматериалов и нанотехнологий.

Среди ключевых результатов научно-исследовательской работы можно отметить увеличение общего объема выполненных работ и услуг, составившего в 2023 году более 115,07 млн рублей, в том числе объем научно-исследовательских работ университета – 85,445 млн рублей, финансирование в рамках проекта дооснащения Центра коллективного пользования – 24,03 млн рублей, объем хозяйственных работ – 42,239 млн рублей. Исследования выполнялись по грантам РФФИ, РНФ, по грантам и договорам с предприятиями и организациями России и Республики Марий Эл.

В вузе активно реализуется изобретательская деятельность, в частности в соавторстве со студентами. За 2023 год получено 68 охранных документов, среди которых 43 патента на изобретение, 10 патентов на полезную модель, 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных. В целом в соавторстве с обучающимися получено 48 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности.

В университете продолжают активная модернизация и расширение перечня научно-исследовательского и инновационного оборудования. Укрепление лабораторной, научной и технологической базы проводится в соответствии с планами развития учебных и научно-технологических подразделений вуза. В рамках проекта «Реализация мероприятий и выполнение работ по дооснащению экологии, биотехнологии и процессов получения экологически чистых энергоносителей, обеспечивающих комплексное развитие инфраструктуры исследовательской деятельности, повышение уровня ее доступности и роста эффективности ее использования» (государственный контракт № 075-15-2021-674 от 28 июля 2021 г.) созданы и функционируют три новые научные лаборатории:

- культуры клеток *in vitro*;
- приборов и методов неразрушающего контроля качества и диагностики материалов и конструкций;
- геоинформационных систем.

В декабре 2023 года в стенах ПГТУ были завершены акселерационные программы поддержки проектных команд и студенческих инициатив для формирования инновационных продуктов «ВолгаТЕСН 2.0» и «ВолгаТЕСН.INFO», а весной 2024 года университет вновь подтвердил свой статус победителя конкурса акселерационных программ.

Научная конференция «Исследования. Технологии. Инновации», ежегодно проводимая в Волгатехе, является одним из важнейших мероприятий в научной жизни университета и основной площадкой для презентации и обсуждения результатов фундаментальных и прикладных исследований преподавателей и сотрудников вуза, способствуя развитию творческой активности молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов.

Двенадцатый выпуск «Трудов ПГТУ» отражает результаты научно-инновационной деятельности профессорско-преподавательского состава вуза за 2023-2024 учебный год. Сборник традиционно состоит из двух серий: Технологической и Социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. Здесь представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- информационные технологии и системы;
- строительство и архитектура;
- транспорт, энергетика, машиностроение;
- биологические и естественные науки;
- инженерия окружающей среды.

***Д. В. Иванов,**
проректор ПГТУ по научной работе,
член-корреспондент Российской академии наук,
профессор, доктор физико-математических наук,
ответственный и научный редактор сборника*

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.391.83

УГЛО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРНЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ РАДИОКАНАЛОВ

Ведерникова Юлия Александровна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: VedemikovaYA@volgatech.net

Рассмотрена задача оценки углов прихода коротких волн (КВ) по данным зондирования ионосферной радиоперелии сложными сигналами типа LFMCW. Получены предельные диапазоны углов прихода КВ в меридиональной плоскости с учетом изменения высоты отражающего ионосферного слоя.

Ключевые слова: синхронизация; алгоритм; угловые частотные характеристики.

Введение. В последнее время растет интерес к КВ-связи и загоризонтной радиолокации. Данная связь обладает быстрой восстанавливаемостью, что является преимуществом перед трансionoсферными спутниковыми системами. Повысить качество работы радиотехнических систем (РТС) позволяет использование диагностики ионосферных радиоперелий непрерывным (LFMCW) сигналом линейной частотной модуляции (ЛЧМ) с диапазоном частот 3–30 МГц [1; 3].

В настоящее время слабо изучена задача влияния состояния ионосферы на углы прихода скачковых мод сигнала, важная при создании узконаправленных антенн приема КВ-сигнала. Данная задача требует развития алгоритма оценки углов прихода по частотным зависимостям групповой задержки мод и методики его применения в активном сенсоре отражательного канала.

Цель работы – создание и исследование алгоритма пересчета результатов наклонного ЛЧМ зондирования ионосферы в части частотных зависимостей задержки мод в их угловые частотные характеристики.

Постановка задачи и результаты оценки угло-частотных характеристик скачковых мод. Свойства распространяющегося через ионосферу сигнала и сама ионосфера, которая является дисперсионной средой, играют важную роль в производительности систем связи.

Надежность и качество систем КВ-связи значительно зависят от условий распространения сигналов в ионосфере и возникающих помех. Многомодовость – это основная причина ухудшения качества передачи за счет замираний и частотной избирательности.

Наиболее важными особенностями распространения КВ в ионосфере, накладывающими ограничения на использование высокоскоростных и широкополосных систем КВ-связи, являются многолучевой характер распространения сигнала, частотные и временные вариации характеристик радиолинии.

Сигнал наклонного зондирования линии КВ-связи – это физическая модель связанного сигнала, позволяющая определить точность оценки параметров рассеяния и отношения сигнал/шум (SNR) для парциальных каналов.

Определять модовую структуру на различных рабочих частотах и отношение сигнал/шум в различных парциальных каналах позволяет панорамное наклонное зондирование (сенсорная диагностика) [2]. При этом параметр рассеяния по доплеровским частотам во всем КВ-диапазоне все равно не определяется. Оценивать все параметры парциального канала позволяют канальные зонды.

Оценка полосы прозрачности и энергетики линии КВ-связи осуществляется методом возвратно-наклонного зондирования, работающим в режиме загоризонтного радиолокатора.

Покажем, что угло-частотные характеристики распространения на линии КВ-связи по частотно-временным характеристикам (ионограммам) позволяют оценивать метод наклонного зондирования [4].

Нетрудно показать, что из первого приближения формулы для задержки сигнала [5] в ионосфере следует формула

$$\theta(f) = \frac{\pi}{2} - \frac{D}{2R} - \arcsin \left(\frac{2R \sin \left(\frac{D}{2R} \right)}{c\tau(f)} \right),$$

где R – радиус Земли;

D – расстояние между передающей и приемной станциями;

c – скорость света;

τ – абсолютная задержка сигнала на выбранной рабочей частоте f .

Данная формула позволяет устанавливать функциональные зависимости между абсолютными задержками и углами прихода.

На рисунке 1 представлено семейство таких зависимостей для трасс различной протяженности.

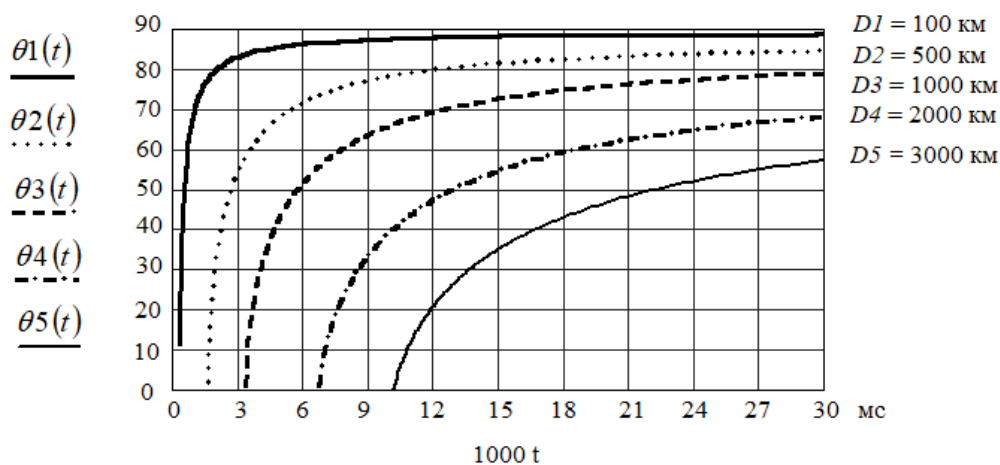


Рис. 1. Зависимости углов прихода от абсолютной задержки сигнала для трасс различной протяженности

Далее был предложен алгоритм, позволяющий получить зависимости углов прихода от частот по экспериментально полученным ионограммам.

Алгоритм:

- 1) полученная ионограмма очищается в программе Ionogram Explorer;
- 2) изображение сохраняется в виде файла в программе Mathcad;
- 3) файл загружается и обрабатывается в программе;
- 4) для основных мод сигнала рассчитываются углы прихода;
- 5) производится масштабирование по оси частот;
- 6) из бинарного двумерного массива формируется ряд двумерных функций;
- 7) для сформированных двумерных функций строится график в соответствии с масштабом (ось абсцисс – частоты; ось ординат – углы прихода);
- 8) полученный график сохраняется в виде файла результатов.

На рисунке 2 показана зависимость углов прихода от частоты сигнала, полученная для радиолинии Кипр – Йошкар-Ола.

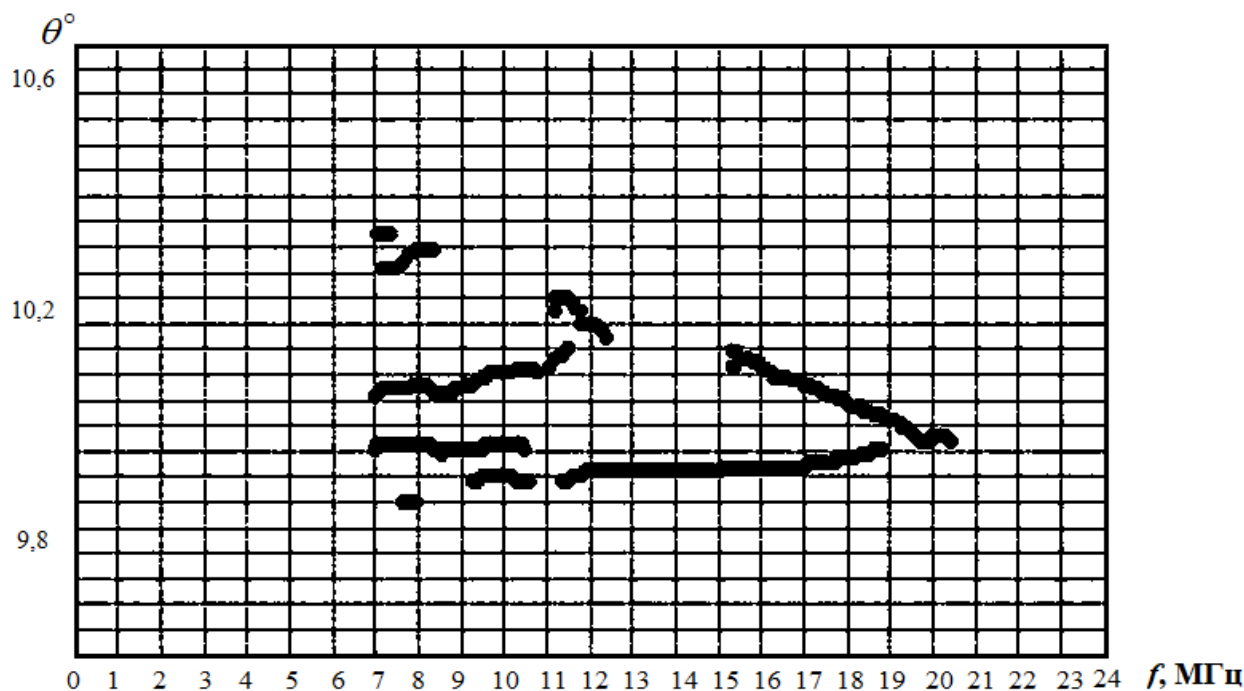


Рис. 2. Зависимости углов прихода для радиолинии Кипр – Йошкар-Ола от частоты сигнала (20:00)

По результатам обработки экспериментально полученных ионограмм для трасс различной протяженности, а также по результатам численного моделирования предельных углов прихода в меридиональной плоскости, с учетом изменения высоты отражающего слоя h_i от 250 км до 350 км, получен график, представленный на рисунке 3.

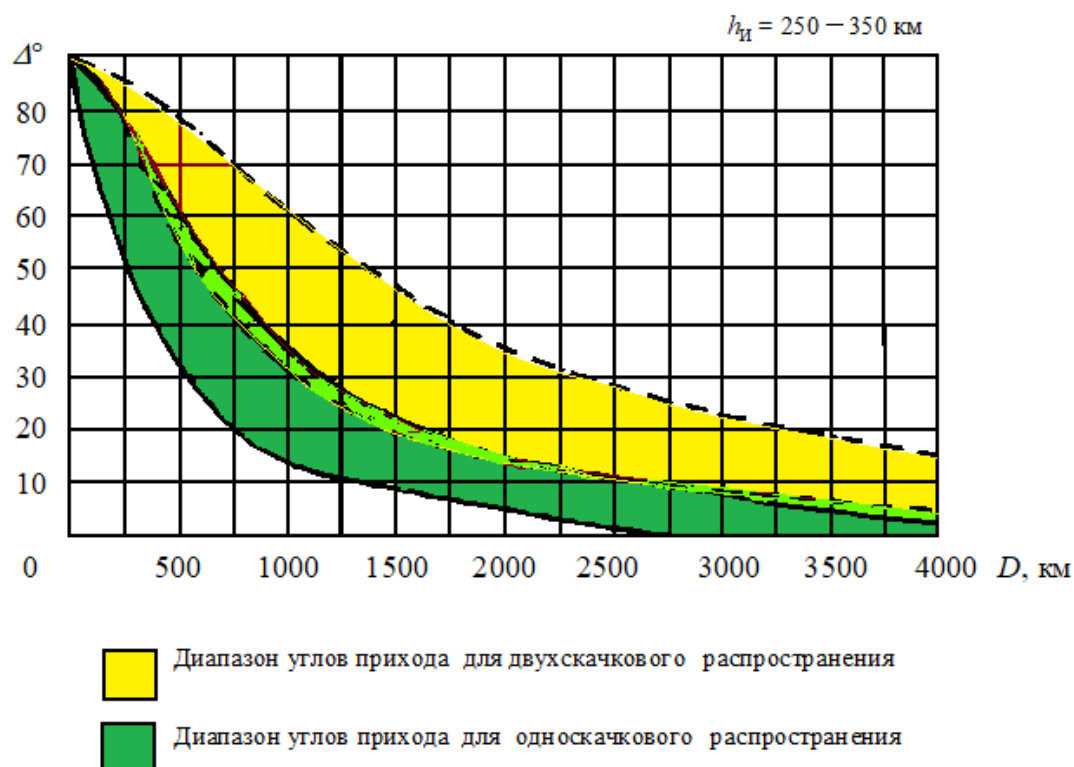


Рис. 3. Предельные диапазоны углов прихода в меридиональной плоскости

При анализе предельных диапазонов углов прихода в меридиональной плоскости сделаны следующие выводы:

1. Для трасс протяженностью менее 300 км вероятностные углы прихода находятся в пределах $50^\circ - 90^\circ$. Здесь наиболее эффективным будет применение в РТС антенн зенитного излучения.
2. Для трасс протяженностью от 300 км до 2 000 км наиболее вероятностные углы прихода находятся в пределах $15^\circ - 50^\circ$. Рекомендовано ориентироваться на односкачковый тип распространения.
3. Для трасс протяженностью от 2 000 до 4 000 км имеем низкие вероятностные углы прихода $\Delta < 2^\circ - 3^\circ$, при этом в режиме односкачкового распространения можно ориентироваться также и на углы прихода моды двухскачкового распространения.

При этом:

- 1) при длине радиолинии от 2 000 км до 3 000 км в режиме односкачкового распространения углы прихода составляют $5^\circ - 15^\circ$;
- 2) при длине радиолинии от 3 000 км до 6 000 км в режиме двухскачкового распространения углы прихода — $4^\circ - 13^\circ$;
- 3) при длине радиолинии более 6 000 км в режиме двухскачкового распространения углы прихода — $3^\circ - 8^\circ$.

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Анализ предельных диапазонов углов прихода в меридиональной плоскости

№ п/п	Расстояние, км	Наиболее вероятностные углы прихода	Режим распространения
1	до 300	50° – 90°	односкачковый
2	300 – 2 000	15° – 50°	односкачковый
3	2 000 – 3 000	5° – 15°	односкачковый
4	3 000 – 6 000	4° – 13°	двухскачковый
5	более 6 000	3° – 8°	двухскачковый

Заключение. Представлен алгоритм, позволяющий по экспериментально полученным ионограммам оценивать зависимость углов прихода от частоты. Также, учитывая изменения высоты отражающего слоя h_i , приведены предельные диапазоны углов прихода в меридиональной плоскости. Получена сводная таблица связи между дистанцией, углами прихода и режимом распространения. Результаты могут быть использованы при создании современных систем дальней радиосвязи и загоризонтной радиолокации.

Список литературы

1. Иванов, Д. В. Многомерный ионосферный радиоканал и связанные с ним проблемы работы модемов высокочастотной связи / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, Р. Р. Бельгибаев, А. А. Елсуков, М. И. Рябова, А. А. Чернов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». – 2014. – № 4 (23). – С. 6–22.
2. Иванов, Д. В. Методология и макет программно-конфигурируемой системы для низкоскоростной передачи информации по ионосферному радиоканалу с высокой надёжностью / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, А. А. Елсуков, Н. В. Рябова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». – 2023. – № 3 (59). – С. 44–56.
3. Мазуренко, Д. К. Требования к точности синхронизации сетей радиодоступа и средств сетевой поддержки при построении системы синхронизации сигналов / Д. К. Мазуренко, Д. А. Пальцин, А. С. Фень // Электросвязь. – 2022. – № 12. – С. 18–21.
4. Иванов, В. А. Устройство и алгоритмы синхронизации радиотехнических систем связи и зондирования ионосферных высокочастотных радиоканалов / В. А. Иванов, Е. В. Катков, А. А. Чернов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». – 2010. – № 2. – С. 114–126.
5. Куличков, К. А. Экспериментальная оценка погрешности системы синхронизации с использованием комбинированного сигнала частотно-временной синхронизации / К. А. Куличков, Н. С. Куличкова, К. Н. Чепя, А. В. Гребенников // Успехи современной радиоэлектроники. – 2018. – № 12. – С. 62–66.

ANGULAR-FREQUENCY CHARACTERISTICS
OF IONOSPHERIC SPURRING RADIO CHANNELS

Yuliya A. Vedernikova

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of synchronization of low-speed LFM communication systems and systems of sensor diagnostics of communication line by complex signals of FMCW-FSK type is considered. The algorithm of conversion of LFM sensing results into angular frequency characteristics is presented.

Keywords: synchronization; algorithm; angular frequency characteristics.

УДК 621.3.09

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ И ДЕСТРУКТИВНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЙ НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРНЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ РАДИОКАНАЛОВ

Михадарова Ольга Васильевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: MihadarovaOV@volgatech.net

Рассмотрены основные принципы конструктивной и деструктивной интерференции и их влияние на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов. Исследованы различные методы измерения и анализа влияния конструктивной интерференции, основные факторы, влияющие на интерференцию, такие как плотность электронов, угол падения радиоволны и другие. Изучены различные методы и технологии, которые могут быть использованы для уменьшения влияния интерференции, например адаптивная фильтрация, использование антенн с узким лучом и другие.

Ключевые слова: ионосферный радиоканал; интерференция; частотные характеристики.

Введение. Ионосфера является важной составляющей атмосферы Земли, которая играет ключевую роль в передаче радиоволн. Она представляет собой область, расположенную от 60 до 1 000 км над поверхностью Земли, состоящую из ионизированных частиц, образующихся под воздействием солнечной радиации. Ее структура и свойства определяют возможность использования ионосферных отражательных радиоканалов для связи на большие расстояния.

Важным аспектом ионосферы является ее влияние на передачу радиоволн. Ионосфера может отражать, пропускать или поглощать радиоволны в зависимости от их частоты и угла падения. Из-за сложной структуры и свойств ионосферы, а также влияния различных факторов, таких как время суток и солнечная активность, передача радиоволн через ионосферу может быть подвержена значительным изменениям. Проблемы, например многомодовый прием, интерференция, оказывают влияние на различные параметры ионосферных отражательных радиоканалов. Одними из основных параметров являются вариации сигнала, которые определяют дальность связи и качество передачи данных. Вариации вызываются интерференцией скачковых и магнито-ионных мод в точке приема.

Взаимодействие радиоволн с ионосферой приводит к конструктивной и деструктивной интерференциям электромагнитных колебаний. В случае двухмодового приема соответствующие им пути могут отличаться между собой. Крайними являются два случая: моды могут приниматься в фазе или в противофазе. При равных амплитудах в первом случае интерференция приводит к одному колебанию с удвоенной амплитудой, а во втором – колебание отсутствует, то есть амплитуда суммы равна нулю (рис. 1). При других фазовых сдвигах амплитуда суммы будет принадлежать отрезку $[0, 2A]$. В некотором диапазоне разностей фазы эффект можно приближенно считать конструктивным.

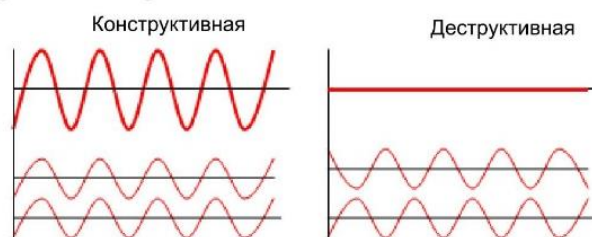


Рис. 1. Влияние конструктивной и деструктивной интерференций на распространение радиоволн

Очевидно, что конструктивная и деструктивная интерференции являются двумя основными явлениями, которые влияют на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов. Конструктивная интерференция приводит к усилению сигнала и увеличению его дальности передачи, а также к улучшению частотных характеристик радиоканала. Деструктивная интерференция, напротив, влечет за собой их взаимное ослабление, ухудшение частотных характеристик и уменьшение дальности передачи. Проявление двух видов интерференции не является предсказуемым процессом.

Цель данной работы заключается в изучении влияния конструктивной и деструктивной интерференций на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов, а также в оценке эффективности различных методов снижения интерференции. Результаты данной работы могут быть использованы для улучшения качества и надежности связи через ионосферные отражательные радиоканалы.

Основы явления интерференции волн

В радиосвязи и радиолокации для доставки информации пользователю радиосигналы распространяются от передатчика к приемнику в виде радиоволн (групп радиоволн) через физическую среду. Для однородной среды в простейшем случае распространения волны вдоль оси Ox ее можно записать в виде функции двух переменных t и x :

$$s(t, x) = A \cos(\omega_0 t - k_0 x),$$

где ω_0 – частота волны;

k_0 – волновое число в вакууме.

В точке приема $x = x_0$ волна превращается в гармоническое колебание вида

$$s(t, x_0) = A \cos(\omega_0 t - k_0 x_0) = A \cos(\omega_0 t - \varphi),$$

где $\varphi = k_0 x_0$ – набег фазы волны при распространении до точки x_0 .

Для такого колебания период и частота связаны формулой

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{1}{f} \text{ и } \omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

здесь f – линейная частота, величина, обратная периоду T .

Сложение гармонических колебаний одного направления удобно анализировать, используя их векторное представление. Рассмотрим сложение двух гармонических колебаний одинакового направления и одинаковой частоты $\omega = \text{const}$, причем амплитуды и фазы зависят от времени:

$$s_1(t) = A_1(t) \cos(\omega t - \varphi_1(t)) \text{ и } s_2(t) = A_2(t) \cos(\omega t - \varphi_2(t)).$$

Результирующие колебания можно найти при помощи векторной диаграммы.

Представив оба колебания в векторной форме и сложив их, получим результирующий вектор $\vec{A}$. Его проекция на ось Ох есть сумма проекций слагаемых векторов $\vec{A}_1$ и $\vec{A}_2$.

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) = A_1(t) \cos(\omega t - \varphi_1(t)) + A_2(t) \cos(\omega t - \varphi_2(t)) = A \cos(\omega t - \varphi(t)).$$

Сложение этих колебаний в точке наблюдения дает гармоническое колебание той же частоты.

Используя теорему косинусов, можно получить выражение для амплитуды:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2(t) - \varphi_1(t)) = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta$$

здесь δ – разность фаз колебаний.

Совокупность векторов, изображающих гармонические колебания, называют векторной диаграммой.

Если фазовая скорость волны характеризует скорость смещения точки волны, имеющей фиксированное значение фазы, то групповая скорость отражает скорость переноса энергии волны, то есть скорость передачи взаимодействия [1].

Рассмотрим две волны с частотами ω_1 , ω_2 и соответствующие им волновые векторы $\kappa_1 = k(\omega_1)$ и $\kappa_2 = k(\omega_2)$. Так как фазовые скорости отличаются друг от друга, то результат сложения этих волн в разные моменты времени будет различным.

Пусть волны задаются уравнениями

$$s_1(t, x) = A \cos(\omega_1 t - k_1 x) \text{ и } s_2(t, x) = A \cos(\omega_2 t - k_2 x).$$

Суммарное колебание будет иметь вид

$$\begin{aligned} s(t, x) &= s_1(t, x) + s_2(t, x) = A \cos(\omega_1 t - k_1 x) + A \cos(\omega_2 t - k_2 x) = \\ &= 2A \cos \frac{(\omega_1 t - k_1 x) + (\omega_2 t - k_2 x)}{2} \cdot \cos \frac{(\omega_1 t - k_1 x) - (\omega_2 t - k_2 x)}{2} = \\ &= 2A \cos \left[\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_1 + k_2}{2} x \right] \cdot \cos \left[\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t - \frac{k_1 - k_2}{2} x \right]. \end{aligned}$$

Пусть волновые векторы κ_1 и κ_2 близки, то есть $|\kappa_2 - \kappa_1| \ll \kappa_1$.

Обозначив $\frac{k_1 + k_2}{2} = k$, $\kappa_2 - \kappa_1 = \Delta k$ и $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \omega$, $\omega_2 - \omega_1 \approx \frac{d\omega}{dk} \Delta k$,

получим выражение для суммарного колебания

$$s(t, x) = 2A \cos[\omega t - kx] \cdot \cos \left[\frac{\Delta k}{2} \left(x - \frac{d\omega}{dk} t \right) \right].$$

Полученное выражение аналогично уравнению биений. Природа быстрых замираний (иначе их называют интерференционными) обусловлена многолучевой структурой сигнала, которая формируется из волн, приходящих в точку приема по различным траекториям. Фазо-

вые соотношения между отдельными лучами в принимаемом многолучевом сигнале могут изменяться за счет случайных пространственно-временных вариаций абсолютной диэлектрической проницаемости среды, а также за счет движения одного или обоих коррелирующих пунктов.

Интерференция в природных радиоканалах

В настоящее время в цифровой радиосвязи стали применять радиоимпульсы, которые в среде распространения трансформируются в пакеты волн, обладающие несущей частотой и полосой частот. Для описания распространения волновых пакетов стали использовать каналные модели, когда физическая среда и распространение в ней заменяется эквивалентным по действию прохождением сигнала через линейную систему – ЛС (linear system – LS), называемую радиоканалом. Поскольку радиоимпульсы приближенно считают полосовыми сигналами, занимающими полосу частот $\Omega_s = 2\pi B_s$, то одним из условий его оптимального приема на фоне флуктуационных помех является обеспечение равенства между полосой частот сигнала и полосой пропускания канала $\Omega_s = \Omega_{ch}$ (или $B_s = B_{ch}$). В силу этого в канальной модели ограничивают полосу пропускания LS введением в частотной области полосового фильтра с частотной характеристикой в виде прямоугольной функции (rectangular function) $rect(\omega) = P(\omega_0, \omega)$ с центром на несущей ω_0 .

В такой модели радиоканал описывается системными характеристиками:

- частотной (ЧХ) $H_{ls}(j\omega, t)$ – в частотной области;
- импульсной (ИХ) $h_{ls}(\tau, t)$ – во временной области.

Эти функции связаны между собой преобразованием Фурье

$$H_{ls}(j\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{ls}(\tau, t) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau.$$

При моделировании канальной модели распространения волновых пакетов [2] предполагается, что гармоническая волна прошла путь от передатчика к приемнику и чаще строится в частотной области заданием эквивалентной по действию линейной системы (радиоканала) с ЧХ в виде

$$H_{ls}(j\omega, t) = H_{ls}(\omega, t) \cdot \exp(-j\varphi_{ls}(\omega, t)),$$

где $H_{ls}(\omega, t)$ – АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) канала;

$\varphi(\omega, t)$ – ФЧХ (фаза-частотная характеристика) канала, совпадающая с набегом фазы волны с частотой ω при распространении луча от передатчика к приемнику.

Линейную систему с полосовым фильтром назовем частотным каналом и обозначим

$$H_{ch}(\omega_0, j\omega, t) = P(\omega_0, \omega) \cdot H_{ls}(j\omega, t),$$

где

$$P(\omega_0, \omega) = \begin{cases} 1, & |\omega - \omega_0| \leq \Omega_{ch}/2 \\ 0, & |\omega - \omega_0| > \Omega_{ch}/2 \end{cases}.$$

Поскольку канал должен иметь ограниченную полосу пропускания B_{ch} , равную полосе частот B_s сигнала, то модель АЧХ канала можно представить в виде графика, представленного на рисунке 2.

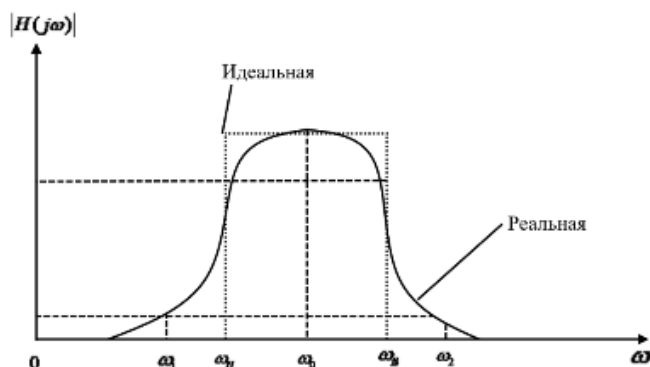


Рис. 2. АЧХ полосового частотного радиоканала

В случае многомодового (многолучевого) приема каждый луч образует парциальный подканал со своими системными характеристиками. Итоговая ЧХ будет равна сумме ЧХ подканалов. Аналогичная ситуация имеет место для ИХ многолучевого канала. Поэтому

$$H_{ch}(j\omega, t) = \sum_{k=1}^K H_{chk}(j\omega, t) \quad \text{и} \quad h_{ch}(\omega_0, \tau, t) = \sum_{k=1}^K h_{chk}(\omega_0, \tau, t).$$

Отметим, что в радиоканале сигнал испытывает потери (ослабление амплитуды), задержку огибающей в форме импульса, задержку фазы несущего колебания и доплеровский сдвиг частоты. Кроме того, в канале к нему аддитивно добавляется шумовая помеха.

Использование узкополосных каналов (3 кГц) не позволяет разделять по задержке принимаемые парциальные моды, соответствующие разным лучам, и они интерферируют между собой. Интерференция приводит к тому, что амплитудно-частотная характеристика испытывает вариации (биения), характеризующие эффект внутримодовой поляризационной дисперсии в канале [3]. Ей присущи подъемы, соответствующие полосам конструктивной интерференции, и провалы, обусловленные деструктивной интерференцией. Очевидно, что для устойчивой работы радиотехнической системы ее радиоканал должен быть вложен в полосу конструктивной интерференции. Для компенсации искажений широкополосных радиосигналов также должна быть решена задача определения АЧХ радиолинии [4].

Таким образом, возникает научная проблема определения АЧХ линии связи с высоким частотным разрешением, а также исследования характеристик АЧХ радиолинии: глубин провалов и ширин полос конструктивной интерференции.

Известны результаты определения статистических характеристик АЧХ с помощью гармонического сигнала, когда экспериментальные законы распределения аппроксимировались известными функциями (законы: нормальный, райсовский, релеевский, Накагами) [5].

Конструктивная интерференция может сужать полосу пропускания, что позволяет передавать сигналы с более высокой частотой. Однако деструктивная интерференция расширяет полосу пропускания и ограничивает возможность передачи сигналов с высокой частотой. Для снижения влияния интерференции на ионосферные отражательные радиоканалы существуют различные методы. Одним из них является использование антенн с узкой направленностью, которые позволяют уменьшить взаимное влияние различных радиоволн. Также применяются методы временного и частотного разделения сигналов, позволяющие избежать конструктивной и деструктивной интерференций.

В целом влияние конструктивной и деструктивной интерференций на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов является значительным. Оно может ограничить дальность связи, снизить качество передачи данных и ограничить возможность использования высоких частот. Однако с помощью различных методов снижения влияния интерференций можно достичь более эффективной работы ионосферных отражательных радиоканалов.

Конструктивная интерференция влияет на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов. Она может приводить к увеличению амплитуды сигнала и улучшению его качества, а также способна изменять фазовые характеристики сигнала, а это влияет на его фазу и частоту, в результате чего возможны изменения в спектре сигнала и его ширине полосы пропускания. Однако не всегда конструктивная интерференция положительно влияет на ионосферные отражательные радиоканалы. В некоторых случаях она способна приводить к искажению сигнала и ухудшению его качества. Например, при сильной конструктивной интерференции иногда возникают нежелательные эффекты, такие как мнимые отражения и помехи. Это может быть особенно проблематично при передаче цифровых сигналов, где точность и целостность данных являются критически важными.

Математическое моделирование влияния конструктивной и деструктивной интерференций в ионосферных отражательных радиоканалах

Для дальнейших рассуждений перейдем к показательной форме колебаний и системных характеристик канала. Тогда его суммарную передаточную функцию можно представить в виде

$$H(f) = |H_1(f)| \cdot e^{-j\varphi_{01}} + |H_2(f)| \cdot e^{-j(2\pi f(\tau_2(f) - \tau_1(f)) + \varphi_{02})} + |H_3(f)| \cdot e^{-j(2\pi f(\tau_3(f) - \tau_1(f)) + \varphi_{03})} + \dots$$

Считая амплитуды парциальных мод и межмодовые задержки постоянными на интервале анализа, для случая двух мод выражение АЧХ радиоканала запишем в виде

$$|H(f)| = \left| A_1 \cdot e^{-j\varphi_{01}} + A_2 \cdot e^{-j(2\pi f(\tau_2 - \tau_1) + \varphi_{02})} \right|.$$

В результате проведенного вычислительного эксперимента [5] показано, что на форму амплитудно-частотных характеристик влияет соотношение амплитуд $k = A_1/A_2$ (рис. 3), а абсолютная величина амплитуд влияет на масштаб АЧХ по амплитуде. При этом в двухмодовом случае период АЧХ обратно пропорционален $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$. На форму АЧХ начальные фазы φ_{01} и φ_{02} не влияют, а их разность $\Delta\varphi = \varphi_{02} - \varphi_{01}$ определяет сдвиг АЧХ по частоте [5].

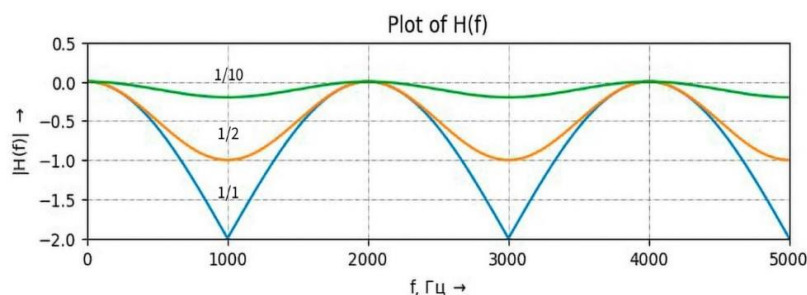


Рис. 3. Модуль передаточной функции двухмодового радиоканала при $\Delta\tau = 0.5$ мс с различным соотношением k амплитуд мод, масштаб вертикальной оси – линейный

На рисунке 4 представлены результаты исследования ширины полос конструктивной (W) и деструктивной (Wd) интерференций на уровнях -5 и -10 дБ от максимального значения. При этом важно отметить, что

$$W_5 + Wd_5 = F, \quad W_{10} + Wd_{10} = F,$$

где F – период АЧХ.

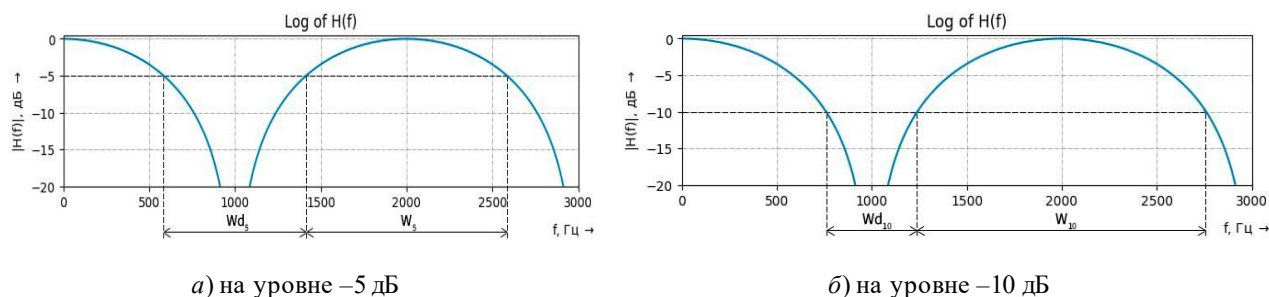


Рис. 4. Модель АЧХ двухмодовой радиолинии $\Delta\tau = 0,5$ мс, $k = 1$, масштаб вертикальной оси – логарифмический

Исследование ширины полос конструктивной (W) и деструктивной (Wd) интерференций сводится соответственно к исследованию высот подъемов и глубин провалов. Очевидно, что для устойчивой работы радиотехнической системы ее радиоканал должен быть вложен в полосу конструктивной интерференции.

Таким образом, можно указать область частот, занимая которую многочастотное колебание будет претерпевать незначительные (допустимые на практике) искажения при прохождении через радиоканал. Эта область частот соответствует так называемой полосе пропускания. В радиосвязи полосой пропускания принято называть область частот, в пределах которой АЧХ уменьшается не более чем в два раза по сравнению с ее максимальным значением.

Заключение. Ионосферные отражательные радиоканалы широко используются в радиосвязи на большие расстояния, в том числе для передачи сигналов в отдаленные районы, где нет возможности прокладывать проводные линии связи. Использование ионосферных отражательных радиоканалов позволяет обеспечить связь на дальние расстояния и обеспечить надежное и качественное взаимодействие. Понимание влияния конструктивной и деструктивной интерференций на частотные характеристики ионосферных радиоканалов позволит разработать более эффективные методы обработки сигналов и улучшить качество связи, особенно в условиях сложных радиоэлектронных помех и неблагоприятных атмосферных условий. Проведенные вычислительные исследования показали, что на форму АЧХ влияет соотношение амплитуд отдельных лучей, а их абсолютная величина влияет на масштаб АЧХ по амплитуде.

Результаты исследования могут быть полезными для разработки новых технологий связи, улучшения работы существующих систем связи и повышения надежности передачи информации.

Список литературы

1. Карлов, Н. В. Колебания, волны, структуры / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 496 с.

2. Иванов, В. А. Определение передаточной функции широкополосного КВ-радиоканала для отдельных мод распространения / В. А. Иванов, А. А. Колчев, В. В. Шумаев // Проблемы дифракции и распространения волн: сб. ст. – М.: МФТИ, 1995. – С. 122–131.
3. Иванов, Д. В. Новые возможности систем широкополосной когнитивной связи, работающих в ионосферных КВ-радиоканалах с внутримодовой дисперсией / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, В. В. Овчинников // Радиотехника. – 2022. – Т. 86, № 11. – С. 162–177.
4. Колчев, А. А. Измерение АЧХ ионосферной КВ радиолинии с целью компенсации искажений, вносимых средой распространения / А. А. Колчев, А. О. Щирий // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2009. – Т. 9, № 4. – С. 23–26.
5. Щирий, А. О. Разработка и моделирование алгоритмов автоматического измерения характеристик ионосферных коротковолновых радиолиний: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2007.

**THE EFFECT OF CONSTRUCTIVE AND DESTRUCTIVE INTERFERENCE
ON THE FREQUENCY CHARACTERISTICS
OF IONOSPHERIC REFLECTIVE RADIO CHANNELS**

Olga V. Mikhadarova

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The basic principles of constructive and destructive interference and its effect on the frequency characteristics of ionospheric reflective radio channels are considered. Various methods of measuring and analyzing the effect of constructive interference have been studied; the main factors influencing interference, such as electron density, the angle of incidence of a radio wave, and others. Various methods and technologies have been studied that can be used to reduce the influence of interference, such as adaptive filtering, the use of narrow-beam antennas, and others.

Keywords: *ionospheric radio channel; interference; frequency characteristics.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.056

CC2531 И ZIGBEE: СОВМЕСТИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ

*Викторов Артем Николаевич, Ахметзянов Эмиль Ильдарович,
Кречетов Александр Александрович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: artemnv2002@gmail.com; ahm.emil2001@yandex.ru; krechetovaa@volgatech.net

В данной статье рассматривается вопрос совместимости модуля CC2531 и протокола ZigBee. Приводится сравнение с аналогами по определенным критериям, основанным на поставленных задачах. Результатом исследования является определение модуля CC2531 как наиболее эффективного для анализа уязвимостей сетевого протокола ZigBee.

Ключевые слова: ZigBee; CC2531; «умный дом»; анализ беспроводной сети.

Введение

ZigBee – это беспроводной протокол, который используется для создания сетей низкой мощности и высокой надежности. ZigBee подходит для приложений, связанных с «умным домом», промышленной автоматизацией, датчиками и управлением освещением. ZigBee основан на стандарте IEEE 802.15.4, который определяет физический и канальный уровни сети.

CC2531 – это USB-модуль, содержащий чип CC2530 с встроенным USB-интерфейсом. CC2530 – система на кристалле (SoC), которая интегрирует радиопередатчик, микроконтроллер и память. CC2530 поддерживает ZigBee, 6LoWPAN и 802.15.4 MAC. CC2531 может работать как координатор или роутер в сети ZigBee, а также как USB-адаптер для подключения устройств на основе ZigBee к компьютеру или другим системам «умного дома».

Актуальность

В контексте современного развития информационного общества особое внимание уделяется информационной безопасности в сфере Интернета вещей (IoT), где протокол ZigBee играет ключевую роль. Микроконтроллер CC2531 от Texas Instruments, поддерживающий стандарты ZigBee, является примером технологии, обеспечивающей совместимость и расширенные возможности для IoT-устройств [1]. Данный микроконтроллер позволяет создавать надежные и энергоэффективные беспроводные сети с использованием ячеистой топологии, что делает его идеальным для широкого спектра приложений IoT. Совместимость CC2531 с ZigBee обеспечивает гибкость в интеграции различных устройств от домашней автоматизации до промышленных систем [2].

Сравнение с аналогами

CC2531 не является единственным USB-модулем, поддерживающим ZigBee (табл. 1). На рынке есть и другие аналоги, имеющие свои преимущества и недостатки.

Таблица 1

Сравнение USB-модулей, поддерживающих ZigBee

Критерий	CC2652RB	EFR32MG21	Z-Stack	CC2531
Функциональность	Поддержка нескольких протоколов, высокая производительность	Поддержка смены протоколов	Низкая производительность и мало ОЗУ	Средняя производительность в сравнении с аналогами, несколько режимов работы
Стоимость, руб.				
Удобство использования	Сложность прошивки. Мало открытого ПО	Сложность прошивки. Мало открытого ПО	Крайне мало открытого ПО	Множество ПО с открытым исходным обеспечением

Назовем некоторые USB-модули, поддерживающие ZigBee:

- **CC2652RB** – это USB-модуль, который содержит чип CC2652R с встроенным кварцевым резонатором. CC2652R – это SoC, который поддерживает не только ZigBee, но и Bluetooth Low Energy, Thread и другие протоколы. CC2652RB имеет более высокую производительность, больше памяти и лучшую стабильность, чем CC2531. Однако он дороже стоит и требует специального программатора для прошивки [3];

- **EFR32MG21** – это USB-модуль, который содержит чип EFR32MG21 от компании Silicon Labs. EFR32MG21 – это SoC, который также поддерживает ZigBee, Bluetooth Low Energy, Thread и другие протоколы. EFR32MG21 имеет схожие характеристики с CC2652RB, но также поддерживает динамическое переключение между протоколами, у него есть встроенный криптографический ускоритель. EFR32MG21 также дороже и сложнее в прошивке, чем CC2531;

- **Z-Stack** – это USB-модуль, который содержит чип Z-Stack от компании NXP. Z-Stack – это SoC, который специализируется на ZigBee и поддерживает различные версии и профили стандарта. Z-Stack имеет низкую стоимость, но также ограниченную память и функциональность, по сравнению с другими модулями [4].

Исходя из цели исследования, были выбраны **критерии** (табл. 1):

- *функциональность*: устройство должно полностью поддерживать протокол ZigBee;
- *стоимость*: при выборе аппаратного обеспечения уделяется внимание бесплатным или недорогим вариантам, не требующим дополнительных затрат или лицензий;
- *удобство использования*: устройство должно легко прошиваться, а взаимодействие устройств в сети – корректно при использовании большинства ПО.

Выводы

CC2531 – это USB-модуль, который подходит для работы с ZigBee и может использоваться для различных целей, связанных с «умным домом», промышленной автоматизацией, датчиками и другими приложениями. CC2531 поддерживает разные поколения и профили ZigBee, а также прошивается и настраивается с помощью различного программного обеспечения.

CC2531 имеет свои преимущества, такие как низкая стоимость, простота использования и совместимость; среди недостатков – ограниченные память, функциональность и производительность. CC2531 является хорошим выбором для тех, кто хочет исследовать возможности ZigBee и создать свою собственную сеть «умного дома». В будущем ожидается появление новых поколений ZigBee и CC2531, которые будут иметь более высокие характеристики и возможности.

Список литературы

1. Грязин, Д. С. Безопасность повышенного уровня в сетях ZigBee / Д. С. Грязин, А. А. Данилова // Перспективы развития информационных технологий. – 2014. – №. 17. – С. 90–94.
2. Рен, М. Z-Фаззер: не зависящее от устройства фаззирование реализации протокола ZigBee / Рен М. и др. // Материалы 14-й конференции АСМ по безопасности и конфиденциальности в беспроводных и мобильных сетях. – 2021. – С. 347–358.
3. Соколов, В. Устойчивость сети ZigBee к атакам с помехами / В. Соколов, П. Складанный, Н. Коршун // Международная конференция IEEE 2023 по информационно-телекоммуникационным технологиям и радиоэлектронике (UkrMiCo). IEEE, 2023. – С. 161–165.
4. Хака, А. Системы хранения данных датчиков Интернета вещей для образовательных целей / А. Хака и др. // Международная конференция по коммуникациям, информации, электронным и энергетическим системам 2022 года (CIEEES). IEEE, 2022. – С. 1–6.

CC2531 AND ZIGBEE: COMPATIBILITY AND CAPABILITIES

*Artem N. Viktorov, Emil I. Akhmetzyanov,
Aleksandr A. Krechetov*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

In this article the compatibility of CC2531 module and ZigBee protocol is considered. Comparison with analogs on certain criteria based on the set tasks is given. The result of the research is the determination of CC2531 module as the most effective one for analyzing vulnerabilities of ZigBee network protocol.

Keywords: ZigBee; CC2531; smart home; wireless network analysis.

УДК 004.056

ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С МОДУЛЕМ CC2531

*Викторов Артем Николаевич, Ахметзянов Эмиль Ильдарович,
Кречетов Александр Александрович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: artemnv2002@gmail.com; ahm.emil2001@yandex.ru; krechetovaa@volgatech.net

В данной статье рассматривается ряд программного обеспечения для анализа сети ZigBee с модулем CC2531. Приводится сравнение ПО по определенным критериям, которые основаны на поставленных задачах. Наконец, делается вывод о том, почему Packet Sniffer и Wireshark были выбраны в качестве наиболее подходящего ПО.

Ключевые слова: ZigBee; CC2531; «умный дом»; анализ беспроводной сети.

Введение

ZigBee – это стандарт беспроводной связи, основанный на протоколе IEEE 802.15.4, который предназначен для создания низкоэнергетических сетей с малой пропускной способностью и большим радиусом действия. ZigBee широко используется в областях, связанных с автоматизацией зданий, домашней автоматизацией, системами безопасности, сенсорными сетями и Интернетом вещей.

CC2531 – это система на кристалле (SoC), которая включает в себя радиопередатчик и приемник ZigBee, микроконтроллер с памятью и интерфейс USB [1]. CC2531 позволяет подключать устройства на основе ZigBee к компьютерам или другим устройствам с USB-портом. CC2531 может работать как координатор, роутер или конечное устройство в сети ZigBee.

Для достижения указанных выше **целей**, необходимо было выбрать программное обеспечение, способное работать с модулем ZigBee на базе чипа CC2531 [2].

Задача включала в себя создание собственной сети ZigBee, в которой различные датчики и исполнительные устройства могли бы обмениваться информацией по беспроводной сети. Кроме того, требовалось исследовать принципы работы протокола ZigBee, анализировать трафик в сети, а также отлаживать и тестировать устройства и приложения.

Актуальность

Особое значение приобретает вопрос выбора программного обеспечения для модуля CC2531. ПО должно обладать всеми необходимыми функциями для настройки, мониторинга и управления устройствами ZigBee. Это включает в себя возможность настройки параметров сети, обновления прошивки и отладки. Кроме того, выбранное ПО должно быть совместимо с микроконтроллером CC2531. Это обеспечит корректную работу устройств в сети.

Сравнение с аналогами

Рассмотрено несколько вариантов программного обеспечения, совместимых с устройством CC2531 (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение различного ПО, совместимого с устройством CC2531

Критерий	SmartRF Flash Programmer	ZigBee2MQTT	Packet Sniffer	Wireshark
Стоимость	Бесплатно	Бесплатно	Бесплатно	Бесплатно
Доступность	Официальное ПО от TI	Открытый код	Официальное ПО	Открытый код
Функциональность	Прошивка, анализ трафика	Подключение к MQTT, интеграция с системами «умного дома»	Захват и анализ трафика	Продвинутый анализ, фильтрация, декодирование
Удобство	Интуитивный интерфейс	Гибкость настройки	Показывает различные характеристики трафика	Множество функций анализа

Данное ПО обеспечивает необходимую функциональность для настройки, мониторинга и управления устройствами в сети ZigBee:

- **SmartRF Flash Programmer** – это официальное программное обеспечение от Texas Instruments, которое позволяет прошивать CC2531 с различными прошивками, включая Z-Stack [3];

- **ZigBee2MQTT** – это проект с открытым исходным кодом, который позволяет подключать устройства ZigBee к MQTT-брокеру, используя CC2531 в качестве координатора, что позволяет интегрировать устройства ZigBee с различными системами «умного дома», такими как Home Assistant, Home Bridge, Majordomo и другими [4];

- **Packet Sniffer** – это программное обеспечение от Texas Instruments, которое позволяет захватывать и анализировать трафик ZigBee, используя CC2531 в качестве анализатора протокола. Оно показывает различные аспекты трафика, такие как типы пакетов, адреса устройств, содержимое полей и полезной нагрузки, ошибки и т. п. [5];

- **Wireshark** – это популярный анализатор сетевого трафика с открытым исходным кодом, который поддерживает множество протоколов, включая ZigBee. Он может работать с CC2531 через Packet Sniffer или другие адаптеры и предоставлять более продвинутые функции анализа, такие как фильтрация, поиск, статистика, графики, декодирование и др. [5].

Исходя из цели исследования, были выбраны следующие **критерии** (табл. 1):

- **стоимость**: при выборе программного обеспечения уделяется внимание бесплатным или недорогим вариантам, не требующим дополнительных затрат или лицензий;

- **доступность**: оценивается доступность программ. Предпочтение отдается вариантам, которые легко скачать, установить и настроить. Также важно, чтобы они поддерживали различные платформы и операционные системы;

- **функциональность**: исследуются возможности программного обеспечения для работы с устройствами CC2531 и протоколом ZigBee. Это включает в себя прошивку, настройку, захват и анализ трафика, а также отладку и тестирование;

- **удобство**: при выборе программы учитывается удобство использования. Предпочтение отдается вариантам с интуитивно понятным API или интерфейсом, позволяющим легко выполнять задачи и получать необходимую информацию.

После сравнения различных вариантов программного обеспечения были выделены Packet Sniffer и Wireshark как наиболее подходящие:

- **Packet Sniffer** позволяет прошивать устройства CC2531, настраивать параметры сети и захватывать трафик ZigBee;

- **Wireshark** предоставляет возможность детального анализа захваченного трафика с помощью фильтров, поиска, статистики и декодеров.

Оба инструмента имеют простой интерфейс, что облегчают выполнение задач и получение необходимой информации.

Заключение. В данной работе было выбрано программное обеспечение для анализа трафика протокола ZigBee с модулем CC2531. В ходе исследования рассмотрены задачи, которые требовалось решить с использованием ZigBee и CC2531, а также критерии, по которым сравнивались различные варианты программного обеспечения. В результате анализа выбраны инструменты Packet Sniffer и Wireshark как наиболее подходящие для поставленных целей.

Список литературы

1. ZigBee USB-стик на базе CC2531 [Электронный ресурс]. – URL: https://supereyes.ru/catalog/programmatory/zigbee_usb_stick_cc2531/
2. Прошивка cc2531/cc2530 [Электронный ресурс]. – URL: <https://zigbee.wiki/books/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8/page/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B0-cc2531cc2530>
3. Texas Instruments – CC2531 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ti.com/product/CC2531>
4. Wireshark [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wireshark.org/>
5. What Are Packet Sniffers and How Do They Work? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lifewire.com/what-is-a-packet-sniffer-2487312>

SELECTING SOFTWARE TO WORK WITH THE CC2531 MODULE

Artem N. Viktorov, Emil I. Akhmetzyanov,
Aleksandr A. Krechetov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This paper discusses a range of software for analyzing ZigBee network with CC2531 module. A comparison of the software according to certain criteria is given, which are based on the objectives. Finally, it is concluded why Packet Sniffer and Wireshark were chosen as the most suitable software.

Keywords: ZigBee; CC2531; smart home; wireless network analysis.

УДК 004.75

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ В ЭТАЛОННОМ МАРШРУТИЗАТОРЕ КОНТЕНТА ДЛЯ NDN-СЕТЕЙ

Дегаев Максим Николаевич

Научный руководитель: Васяева Наталья Семёновна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: vasyaevans@volgatech.net; worksome@ya.ru

В статье разрабатывается эталонный механизм пересылки данных путем выбора хорошо зарекомендовавших себя высокоскоростных технологий, а затем анализируется современная реализация прототипа, чтобы определить его узкое место в производительности. Микроархитектурный анализ на уровне процессорных конвейеров и инструкций показывает, что задержка доступа к динамической оперативной памяти (DRAM) является одним из узких мест для высокоскоростных систем пересылки. В статье исследованы два метода обработки пакетов с возможностью предварительной выборки, позволяющие снизить задержку доступа к DRAM.

Ключевые слова: архитектура; коммутация; маршрутизация; хэш-таблица; Named Data Networking.

Введение. Доминирующим видом трафика на телекоммуникационных сетях становится трафик данных. При этом объемы трафика данных растут столь быстро, что впервые в истории развития средств связи настоятельно потребовалось создание совершенно новых сетей с колоссальной пропускной способностью, использующих технологию коммутации пакетов. Именно развитие интернет-приложений и появление новых оптических технологий вносят фундаментальные изменения в сетевую философию.

Целью данной работы является исследование различных архитектур таблиц FIB, PIT и CS в эталонном маршрутизаторе контента в NDN-сетях [1] для выявления оптимальной структуры, позволяющей ускорить обработку пакетов данных и пакетов интереса. Этот вопрос является актуальным, поскольку скорость передачи данных и объем хранимых данных неизменно растут каждый год.

Объектом исследований являются алгоритмы поиска данных в таблице FIB на основе хэш-таблицы в эталонном маршрутизаторе контента для NDN-сетей.

Эталонная аппаратная платформа NDN-роутера представлена на рисунке 1. Она основана на процессорах семейства Intel Xeon на базе Broadwell [2], синхронных процессорах четвертого поколения (DDR4) с двойной скоростью передачи данных DRAM и новейшими сетевыми интерфейсными платами (NIC).

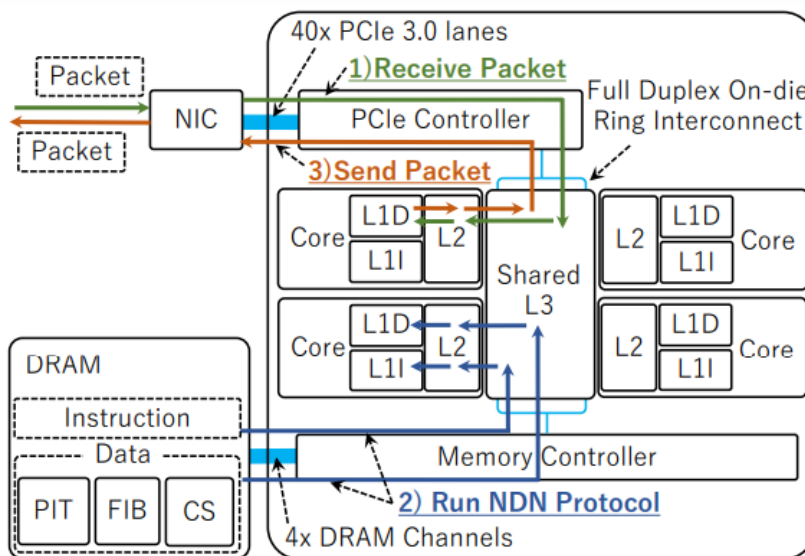


Рис. 1. Эталонная аппаратная платформа NDN-роутера

Процессорные ядра и кэш-память

Каждый процессор имеет несколько процессорных ядер, соединенных между собой одним или двумя полнодуплексными сетевыми соединениями. Центральный процессор имеет кэши команд L1, данных L1, L2 и L3. Для простоты обозначения кэши команд L1 и данных L1 называются кэшами L1I и L1D соответственно. В отличие от кэша L3, являющегося общим для всех ядер процессора, каждое из ядер процессора имеет эксклюзивный кэш L2, L1I и L1D.

Чтобы использовать вычислительные возможности многоядерных процессоров, необходимо тщательно разработать стратегии многопоточности [3]. Для этого возможно использовать стратегию назначения одного потока одному пакету NDN вместо назначения последовательности потоков одному пакету в качестве конвейера, чтобы предотвратить прерывание конвейера ожиданиями ввода-вывода. Необходимо сфокусироваться на двух важных аспектах стратегий многопоточности: устранении взаимного исключения и равномерном распределении рабочих нагрузок для обработки пакетов во всех потоках [4]. Для устранения двух факторов следует рассмотреть эксклюзивные таблицы NDN и сегментирование на уровне блоков. Взаимное исключение любых общих данных приведет к серьезному снижению производительности.

Чтобы не было взаимного исключения, каждый поток имеет свои собственные таблицы FIB, PIT и CS, тем самым предотвращая доступ к таблицам других потоков, как это предусмотрено в существующих прототипах программного обеспечения маршрутизаторов NDN.

Поступающие пакеты пересылаются потокам в соответствии с их именами с помощью функции масштабирования на стороне получателя (RSS), что позволяет сетевым адаптерам отправлять разные пакеты в разные очереди для распределения рабочей нагрузки между процессорами [5].

Сегментирование на уровне фрагментов, которое распределяет их в таблице CSs на основе результата хэш-функции, вычисленной на основе имен фрагментов, распределяет их поровну для каждого CS [6]. Программное обеспечение распределяет пакеты поровну между каждым потоком в соответствии с хэшами их имен на сетевых адаптерах с использованием RSS [7].

Структуры данных для FIB

Существуют три перспективных типа структур данных для реализации таблицы FIB:

- 1) FIB на основе фильтра Блюма;
- 2) FIB на основе Trie (префиксной таблицы);
- 3) FIB на основе хэш-таблицы.

Рассмотрим **основные особенности** каждой структуры [8].

1. *FIB на основе фильтра Блюма.* Фильтр Блюма – это компактная структура данных для представления набора, которая поддерживает запросы на членство. Эффективность использования пространства достигается за счет небольшого количества ложных срабатываний. Предложено несколько алгоритмов, основанных на фильтре Блюма. Например, были разработаны структура таблицы FIB на основе фильтра Блюма и алгоритм поиска для FIB, предложена структура индексов на основе фильтров Блюма для ускорения доступа к записям в CS, PIT и FIB. Чтобы компенсировать ложные срабатывания фильтров Блюма, FIBS на основе фильтров Блюма обычно используют хэш-таблицы за фильтрами Блюма, что приводит к увеличению числа обращений к кэш-памяти процессора или DRAM по сравнению с FIBS на основе чистых хэш-таблиц. Увеличение числа обращений к кэш-памяти процессора или DRAM затрудняет устранение сбоев в конвейере команд, поэтому мы не рекомендуем использовать FIBS на основе фильтра Блюма на программных маршрутизаторах NDN.

2. *Выборка на основе Trie.* Trie – это древовидная структура данных, в которой хранится ассоциативный массив. В случае, когда trie используется в качестве базовой структуры данных FIB, его ключами являются префиксы, а значениями – соответствующие образы, и поиск образов осуществляется путем обхода вершин от корневой вершины. Patricia – сжатая версия trie, в которой вершина, являющаяся единственным дочерним элементом, объединяется со своим родительским элементом.

Преимущества FIB на основе Patricia заключаются в двух аспектах. Во-первых, размер хранилища для FIB на основе Patricia, как правило, меньше, чем у FIB на основе хэш-таблицы, поскольку несколько префиксов, имеющих общую часть, могут совместно использовать одну область хранения для общего префикса. Существуют архитектуры с компактной двоичной Patricia, которая достаточно мала, чтобы ее можно было поместить в SRAM аппаратного маршрутизатора в качестве структуры данных FIB. Во-вторых, преимущество заключается в вероятности того, что часть FIB на основе Patricia окажется в кэш-памяти процессора выше, чем у FIB на основе хэш-таблицы.

Поскольку FIB на основе Patricia всегда проходит от своей корневой вершины, то вершины с низкой глубиной, скорее всего, будут находиться в кэш-памяти процессора. В отличие от этого доступ к хэш-таблице является независимым из-за случайного характера хэш-значений, и, следовательно, любая часть FIB на основе хэш-таблицы вряд ли окажется в кэш-памяти процессора. Недостатком FIB на основе Patricia является сложность сокрытия задержки доступа к DRAM.

Несмотря на небольшой размер Patricia, сохранить весь Patricia целиком в кэш-памяти процессора невозможно по следующим двум причинам: во-первых, размер кэш-памяти процессора намного меньше, чем у SRAM на аппаратных маршрутизаторах; во-вторых, размер кэша L3 для ядра процессора становится еще меньше, поскольку кэш L3 используется совместно со всеми ядрами процессора. Поскольку поиск Patricia выполняется путем обхода вершин от корня, адрес следующей вершины, которую нужно обойти, не может быть вычислен до получения ее родительской вершины.

3. *FIB на основе хэш-таблицы.* Хэш-таблица также является структурой данных для реализации ассоциативного массива. Аналогично FIB на основе Patricia, ее ключами являются префиксы, а значениями – образы, соответствующие ключам. Во многих исследованиях хэш-таблица используется в качестве базовой структуры данных для FIB. Существует архитектура

таблицы FIB на основе хэш-таблицы, которая упаковывает указатели на несколько хэш-записей в один хэш-блок, так что хэш-блок помещается в одну строку кэша процессора, и это сокращает количество выборок данных из DRAM.

Блоки и записи хэш-таблицы называются блоками хэша и хэш-записями, чтобы их было легко отличить от других записей, таких как записи FIB или PIT. В отличие от FIB на основе Patricia, преимущество FIB на основе хэш-таблицы заключается в том, что скрыть задержку доступа к DRAM проще, чем в FIB на основе Patricia, поскольку его схемы доступа предсказуемы, если хэши ключей доступны заранее. Его недостаток состоит в том, что данные, состоящие из FIB на основе хэш-таблицы, не будут храниться в кэшах процессора, то есть они всегда будут находиться в DRAM. Это связано с тем, что нет никакой корреляции между обращениями к хэш-таблице из-за полной случайности значений хэша. Это приводит к частой выборке данных из DRAM. FIB на основе Patricia и FIB на основе хэш-таблицы имеют свои плюсы и минусы по сравнению друг с другом. Однако FIB на основе хэш-таблицы превосходит FIB на основе Patricia по количеству обращений к DRAM. Соответственно, мы выбираем хэш-таблицу в качестве базовой структуры данных FIB.

Для поиска FIB на основе хэш-таблицы необходимо повторять операции поиска до тех пор, пока не будет найден самый длинный совпадающий префикс. Для сокращения количества итераций предлагается несколько алгоритмов, которые определяют порядок итераций.

Существуют два многообещающих **алгоритма**: поиск по длительности с самого начала и двухэтапный поиск [9].

1. *Алгоритм поиска с использованием самого длинного префикса* является широко используемым алгоритмом. Он начинает операцию сопоставления самого длинного префикса с самым длинным префиксом имени и переходит к более короткому префиксу, пока не найдет самый длинный совпадающий префикс.

2. *Двухэтапный алгоритм поиска* сокращает среднее число итераций, начиная поиск с некоторого более короткого префикса (M компонентов), чем запрашиваемый префикс. Каждая запись FIB, имеющая префикс с M компонентами, поддерживает максимальную длину префиксов, которые начинаются с одного и того же префикса в FIB. Проверяя максимальную длину, можно либо продолжить поиск более короткого префикса, либо перезапустить поиск более длинного.

Согласно результатам моделирования, двухэтапный алгоритм поиска сокращает количество итераций по сравнению с алгоритмом поиска с самым длинным первым этапом; тем не менее, он может увеличить количество выборок данных из DRAM [9]. Для каждой итерации оба алгоритма извлекают хэш-данные из DRAM. Кроме того, они извлекают несколько хэш-записей из DRAM. Предполагая, что вероятность коллизий хэшей достаточно мала, алгоритм поиска с использованием самого длинного поиска гарантирует, что количество выборок хэш-записей равно единице, независимо от количества итераций. Это связано с тем, что он извлекает хэш-запись только тогда, когда находит самый длинный совпадающий префикс. Напротив, алгоритм двухэтапного поиска выбирает хэш-записи префикса с M компонентами и самый длинный совпадающий префикс, когда он не находит запись FIB с длиной компонента M . Однако скрыть доступ к хэш-записям сложнее, чем к хэш-корзинам. По этим причинам мы используем самый длинный алгоритм поиска с самого начала для нашего программного маршрутизатора NDN.

Предварительная выборка – это ключевой метод, позволяющий скрыть циклы работы процессора во время остановок конвейера, вызванных получением данных из DRAM-памяти. Важным условием успеха является то, что после предварительной выборки доступ к памяти проходит достаточно продолжительное время. После определения выборок данных, циклы ко-

торых не могут быть скрыты обычными потоками обработки пакетов, в этом разделе разрабатывается удобный для предварительной выборки поток обработки пакетов, чтобы избежать остановок конвейера, вызванных идентифицированными выборками.

Выборка нескрытых данных при обычной обработке пакетов

Поскольку фрагменты данных, хранящиеся в DRAM, представляют собой только хэш-блоки и хэш-записи трех хэш-таблиц, таких как CS, PIT и FIB, важно знать точно, когда потоку известен адрес к хэш-блоку или хэш-записи, когда он получает доступ к блоку или записи. На рисунке 2 показаны типичные процессы обработки пакета интереса и пакета данных.

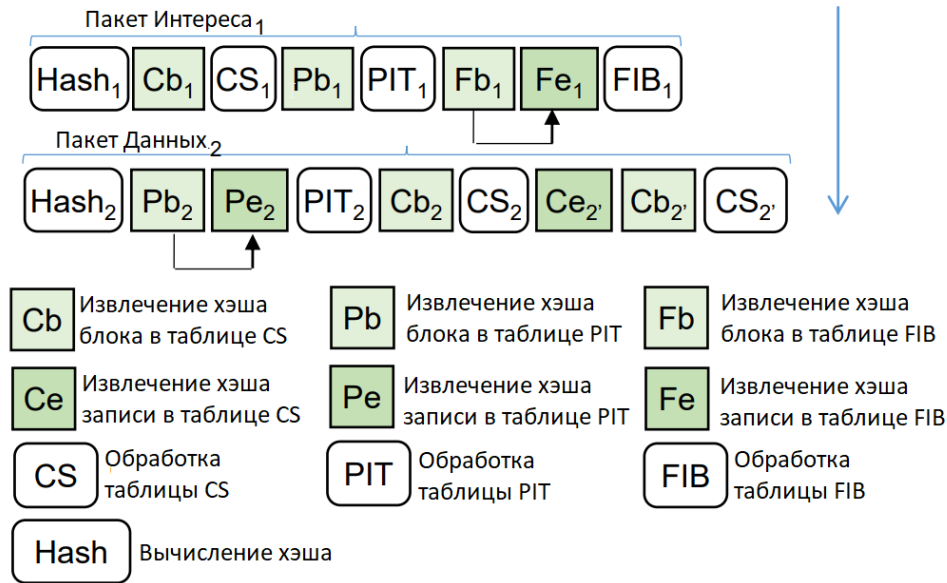


Рис. 2. Обычная обработка пакетов

Как видно на рисунке, два пакета принимаются последовательно, и мы называем их первым пакетом и вторым пакетом соответственно. Суффиксы 1 и 2 означают первый пакет и второй пакет соответственно. Эти два потока являются самыми длинными, что означает, что два потока занимают больше всего времени. Например, в случае пакета интереса осуществляется доступ ко всем трем хэш-таблицам.

Поскольку пакет интереса не попадает в CS, поток выполняет поиск в хэш-таблице FIB, чтобы узнать исходящее лицо, после поиска в PIT и создания записи в PIT. Поскольку запись PIT, созданная в PIT, записывается обратно в DRAM в фоновом режиме, в дальнейшем мы не обсуждаем такую обратную запись. Напротив, когда принимается пакет данных, запись в PIT удаляется, а затем пакет данных вставляется в CS. Это означает, что хэш-корзина и хэш-запись для замененного пакета данных в CS также есть доступ, как показано Cb2' и Ce2' на рисунке 2, из которого мы получаем два наблюдения, предотвращающих скрытие киосков. Во-первых, первая ячейка хэша (Cb1 или Pb2 на рис. 2) не может быть предварительно выбрана, поскольку ее адрес определяется непосредственно перед вычислением хэша. Очевидно, что между вычислением адреса, то есть вычислением хэша, и выборкой данных нет времени. Во-вторых, хэш-таблицы, к которым можно получить доступ после доступа к CS или PIT, не являются предопределенными, и они устанавливаются после проверки CS или PIT.

Стратегии предварительной выборки

В существующее время разрабатываются две стратегии предварительной выборки, то есть вычисление предварительного хэша и поиск по спекулятивной хэш-таблице (HT) [10], исходя

из следующих предположений. Поскольку предусмотрено четыре канала DRAM, разумно, чтобы несколько фрагментов данных в DRAM извлекались параллельно, то есть до четырех выборок данных. Количество циклов процессора, затрачиваемых на обработку PIT, CS и FIB, больше, чем на выборку либо хэш-блока, либо хэш-записи. Это означает, что такие выборы данных скрыты за счет вычислений, связанных с обработкой таблиц.

На рисунке 3 представлены две существующие стратегии выборки данных.

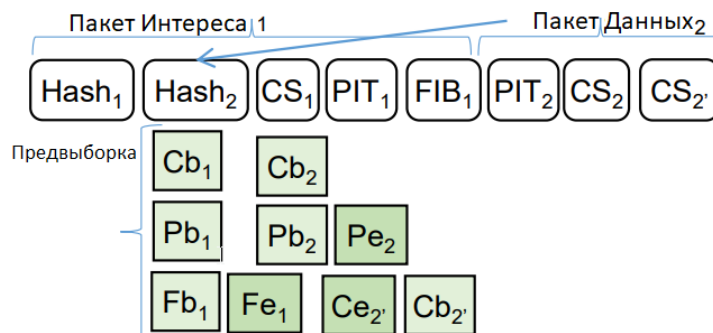


Рис. 3. Обработка пакетов с возможностью предварительной выборки

Во-первых, предварительное вычисление хэша основано на первом наблюдении из предыдущего подраздела. Чтобы скрыть задержки, вызванные выборкой первого хэш-пакета, необходимо использовать вычисление последующего пакета. Это означает, что последовательность вычислений необходимо пересмотреть для нескольких пакетов. Выбор двух последовательных пакетов основан на том, что их большое количество требует наличия состояний для обработки нескольких пакетов, которые в худшем случае могут храниться в DRAM. Поэтому мы используем подход, позволяющий предварительно вычислять значение хэша для последующего пакета сразу после завершения вычисления хэша для первого пакета. Параллельно из DRAM извлекаются хэш-блоки CS, PIT и FIB, как показано Cb₁, Pb₁ и Fb₁ на рисунке 3. Вычисление хэша скрывает задержки, вызванные извлечением первого хэш-блока.

Во-вторых, после извлечения вышеупомянутых хэш-блоков становится возможным извлекать хэш-записи всех хэш-таблиц, то есть CS, PIT и FIB, из первого пакета из DRAM. Таким образом, все хэш-записи, включая те, к которым невозможен доступ из-за длительных предварительных результатов сопоставления, извлекаются умозрительно, даже если некоторые из них впоследствии не используются. Стратегия называется «упреждающий поиск в формате HT». Упреждающий поиск в формате HT применяется к хэш-записям для последующего пакета после получения для него хэш-блоков. Это применяется ко всем хэш-блокам и хэш-записям, которые соответствуют именам до x, длина которых меньше, чем имя пакета, чтобы скрыть задержки в случае совпадения самых длинных значений до x.

Существует несколько проблем при использовании предварительной выборки. Например, задержки, вызванные поздней предварительной выборкой, и накладные расходы, связанные с избыточной предварительной выборкой при спекулятивном поиске HT. Другая проблема заключается в том, что предварительная выборка хэш-блоков и записей второго пакета в кэш процессора приведет к удалению или перезаписи данных первого пакета из кэша процессора. Однако, вероятно, такого удаления не произойдет, поскольку средний размер вновь извлекаемых данных для обработки двух пакетов относительно меньше, чем этот – из кэша центрального процессора. Средний размер данных, извлекаемых для обработки двух пакетов, составляет приблизительно 9 000 (4 500 байт/пакет), в то время как средний размер кэша L3 для одного ядра процессора составляет приблизительно 2,5 Мбайт, поскольку 55 Мбайт совместно используются 22 ядрами процессора [2].

Заключение. Итогом работы является обоснование выбора хэш-таблицы в качестве предпочтительной архитектуры основных таблиц NDN сетей, таких как FIB, PIT и CS, хранящихся в памяти эталонного маршрутизатора. Выбор обусловлен следующими факторами:

- при использовании подобных структур можно предложить алгоритмы быстрого поиска данных в кэше, характеризующихся снижением числа обращений к оперативной памяти, что является узким местом в производительности эталонного NDN-роутера;
- снижена вероятность кэш-промаха;
- улучшена сходимость алгоритмов поиска;
- за последние три года значительно возросло число опубликованных работ в рецензируемых международных источниках по теме исследований – вопросов организации данных в виде хэш-таблиц для хранения больших объемов данных (Big Data).

Список литературы

1. Huichen, Dai. BFAST: Unified and Scalable Index for NDN Forwarding Architecture / Dai Huichen, Lu Jianyuan, Wang Yi, Liu Bin // In Proceedings of IEEE INFOCOM. IEEE, 2015. – P. 2290–2298.
2. Intel Corporation. Intel Xeon Processor E5 v4 Family [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <http://ark.intel.com/products/family/91287> (дата обращения: 18.05.2024).
3. Tian, Song. Scalable Name-Based Packet Forwarding: From Millions to Billions / Song Tian, Yuan Haowei, Crowley Patrick, Zhang Beichuan // In Proceedings of ACM ICN. ACM, 2015. – P. 19–28.
4. Junji, Takemasa. Identifying Highly Popular Content Improves Forwarding Speed of NDN Software Router / Takemasa Junji, Taniguchi Kosuke, Koizumi Yuki, Hasegawa Toru // In Proceedings of IEEE Globecom Workshop. IEEE, 2016. – P. 1–6.
5. Sheng, Li. Achieving One Billion Key-Value Requests per Second on a Single Server / Li Sheng, Lim Hyeontaek, Victor W. Lee, JungHoAhn, Anuj Kalia, Michael Kaminsky, David G. Andersen, Seongil O, Sukhan Lee, Pradeep Dubey // IEEE Micro 36, 3 (May 2016). – 2016. – P. 94–104.
6. Lorenzo, Saino. Understanding Sharded Caching Systems / Lorenzo Saino, Ioannis Psaras, George Pavlou // In Proceedings of IEEE INFOCOM. IEEE, 2016. – P. 1–9.
7. Toru, Hasegawa. Empirically Modeling How a Multicore Software ICN Router and an ICN Network Consume Power / Toru Hasegawa, Yuto Nakai, Kaito Ohsugi, Junji Takemasa, Yuki Koizumi, Ioannis Psaras // In Proceedings of ACM ICN. ACM, 2014. – P. 157–166.
8. Yi, Wang. NameFilter: Achieving fast name lookup with low memory cost via applying two-stage Bloom filters / Yi Wang, Tian Pan, Zhian Mi, Huichen Dai, Xiaoyu Guo, Ting Zhang, Bin Liu, Qunfeng Dong. // In Proceedings of IEEE INFOCOM MiniConference. IEEE, 2013. – P. 95–99.
9. Kosuke, Taniguchi. Poster: A Method for Designing High-speed Software NDN Routers / Kosuke Taniguchi, Junji Takemasa, Yuki Koizumi, Toru Hasegawa // In Proceedings of ACM ICN. ACM, 2016. – P. 203–204.
10. Yannis, Thomas. Object-oriented Packet Caching for ICN / Yannis Thomas, George Xylomenos, Christos Tsilopoulos, George C. Polyzos // In Proceedings of ACM ICN. ACM, 2015. – P. 89–98.

FEATURES OF PACKET PROCESSING IN THE REFERENCE CONTENT ROUTER FOR NGN NETWORKS

Maxim N. Degaev, Natalya S. Vasyaeva

The article develops a reference data transmission mechanism by selecting well-established high-speed technologies, and then analyzes the modern implementation of the prototype to determine its performance bottleneck. Microarchitectural analysis at the level of processor pipelines and instructions shows that the latency of access to dynamic random access memory (DRAM) is one of the bottlenecks for high-speed forwarding systems. The article develops two pre-sampling packet processing methods that reduce latency when accessing DRAM.

Keywords: architecture; hash table; named data network; routing switching.

УДК 629.7.05

БИБЛИОТЕКА ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТА БПЛА

Иванов Артём Владимирович

Научный руководитель: Морохин Дмитрий Витальевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: dvmitry@mail.ru

В данной статье рассматривается доработка библиотеки для написания программ построения маршрута беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) на основе архитектуры Tello. В базовую версию добавлены функции построения графиков перемещения по координатам с API (Application programming interface – интерфейс программирования приложения) дрона, также выполнен переход на использование асинхронной библиотеки управления tello-asyncio.

Ключевые слова: БПЛА; API; построение маршрута.

Введение. В настоящее время навыки программирования БПЛА являются востребованными в различных областях жизнедеятельности. Для популяризации данного направления проводятся учебные занятия, конкурсы и соревнования по тематике программного управления беспилотниками [1–5]. Одной из востребованных моделей, применяемых для обучения, является серия Tello от производителя DJI. Данная модель позволяет использовать персональный компьютер для подключения к дрону по протоколу Wi-Fi UDP и управлять полетом с помощью текстовых команд.

Однако при достаточно широком распространении самих устройств библиотеки для использования в программировании данных БПЛА развиты недостаточно: многие не имеют поддержки русского языка, ограничены функциональные возможности развертывания маршрута, сохранения маршрута в файл и его повторной загрузки.

Цель данного труда – доработка свободно-распространяемой библиотеки tello_sim для расширения ее функциональности и улучшения использования.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- расширить функциональные возможности по развертыванию маршрута полета, а именно разделение подпрограммы развертывания маршрута на метод подключения к дрону, проверку уровня сигнала и основного метода развертывания команд;
- доработать дополнительные функции загрузки маршрута из файла, а именно загрузку и моментальное развертывание команд на реальном дроне без построения визуализации для экономии времени;
- перейти на асинхронную библиотеку по работе с API дрона для улучшения стабильности развертывания и возможности реализации обработки ошибок и коррекции маршрута во время развертывания;
- выполнить перевод описания функций библиотеки на русский язык;
- составить руководство по расширенной библиотеке;
- разработать примеры использования обновленной библиотеки в учебных целях.

Описание БПЛА

Tello – это компактный беспилотник роторного типа размером менее 10 см и весом 85 г. Небольшие размеры и вес позволяют применять его на начальных стадиях обучения пилотированию и программированию БПЛА в помещениях.

Оснащение модели:

- две камеры: основная (передняя) и дополнительная (нижняя);
- коллекторные моторы, что является недостатком, так как они в большей степени подвержены механическим неисправностям;

- приложение для пилотирования;
- задокументированный API команд для управления посредством программирования;
- подключение по WI-FI к ПК или смартфону.

Программный интерфейс

API позволяет программировать квадрокоптер на произвольном языке программирования. Однако наибольшее распространение получили программы на Python и Scratch.

Программный интерфейс предполагает наличие определенного набора команд, которые БПЛА «понимает» и выполняет по ним базовые действия. В связи с этим он достаточно прост в программировании и подходит для обучения школьников и студентов. Есть даже опыт использования данного БПЛА в обучении информатике [4] и программированию [5].

API также позволяет создавать свои библиотеки для более удобного взаимодействия с дроном по WI-FI посредством команд. Один из таких проектов – `tello_sim`.

`tello_sim` – это неофициальная библиотека на python, использующая API команд Tello и представляющая собой симулятор, предназначенный в первую очередь для применения в учебных целях.

Симулятор представляет собой построение маршрута перемещения и может быть использован как в обычных python.py программах, так и в блокноте Jupyter Notebook, по которому наглядно видно поведение команд управления (рис. 1).

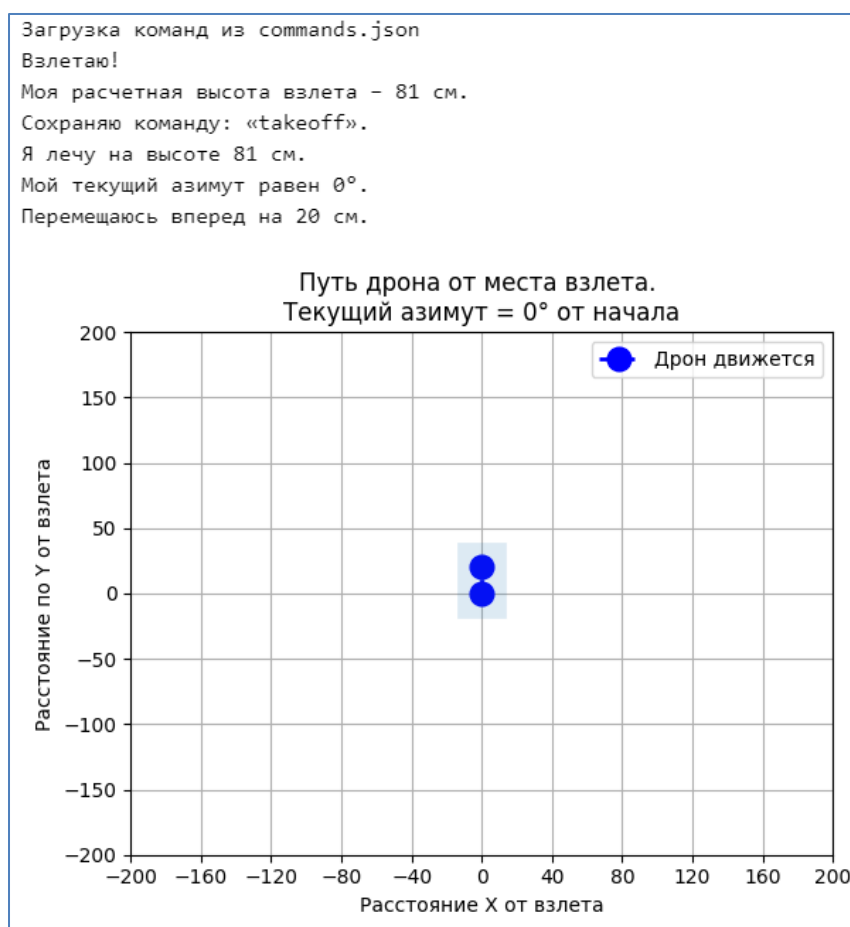


Рис. 1. Пример блокнота с управляющей программой, информацией от БПЛА и картой полета

Основной смысл симулятора заключается в пошаговом построении маршрута, то есть при выполнении каждой команды движения генерируется новый график, отображающий значение команды в виде перемещения точки на графике с рисованием линии траектории и сохранением каждой команды в памяти симулятора, из которой затем можно извлечь список команд или направить его на управление реальным устройством.

При построении маршрута программа прорисовывает поведение каждой команды. Симулятор проверяет правильность синтаксиса команд и соблюдение правил полета. Например, команда «взлет» должна выполняться перед любыми командами полета.

Также на графике маршрута симуляции отображается светло-голубая полоса погрешности в 25 сантиметров.

Задача построения маршрута

Опишем основные шаги обучения программированию БПЛА с использованием симулятора.

1. Подготавливается реальное пространство с определенными путевыми точками и препятствиями.

2. Учащиеся разрабатывают план полета, основываясь на измерении расстояния между путевыми точками на трассе.

3. Смоделированный маршрут запускается на реальном квадрокоптере и оценивается.

Реальный полет будет всегда отличаться от смоделированного полета в зависимости от множества факторов, среди которых:

- запрограммированная траектория полета;
- точность работы инерциального позиционирования дрона;
- факторы окружающей среды, такие как ветер;
- препятствия, не включенные в модель.

4. С учетом данных факторов корректируется виртуальный маршрут и снова проверяется на настоящем маршруте (рис. 2–3).

Развертывание маршрута

Подключение к дрону:

```
from tello_sim import Simulator
my_drone = Simulator()
```

Python

Примечание

Необходимо подключиться (проверить подключение) к дрону перед запуском маршрута!

```
my_drone.connect_tello()
```

Python

CONNECT 192.168.10.1
Соотношение сигнал/шум Wi-Fi: 90%
Заряд батареи: 56 %
Температура: ~ (57 - 59) °C

Рис. 2. Пример нового развертывания маршрута с отдельным подключением и проверкой уровня сигнала

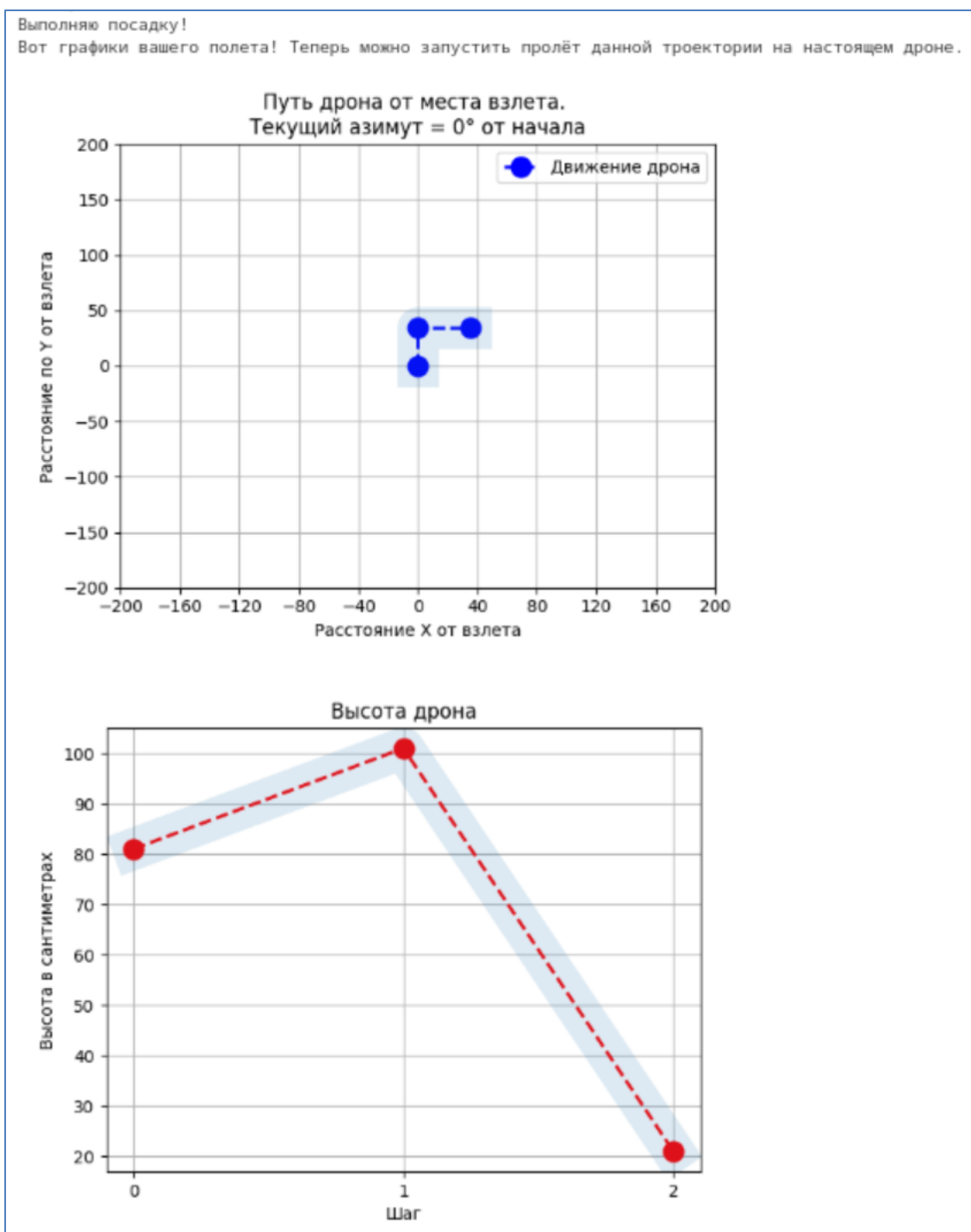


Рис. 3. Построение кривой по трем точкам

Ключевая цель симулятора заключается в том, чтобы показать обучающимся, что данная имитация полета в симуляторе – это компьютерная модель того, как беспилотник может вести себя в реальном мире. Симуляция позволяет студентам оценить, как будет работать их программа перед реальным запуском.

Доработка симулятора

Так как симулятор является открытым и достаточно редко обновляется, была создана новая ветка его развития, функционал постоянно дорабатывается.

На данный момент выполнены следующие работы:

- симулятор переведен на русский язык для удобства использования;
- добавлены команды перемещения в пространстве с API, которые отсутствовали в оригинальной версии;
- симулятор переведен на использование асинхронной библиотеки `tello-asyncio`, благодаря которой появилась возможность одновременно с развертыванием маршрута получать одометрию дрона;
- реализован отдельный метод подключения и проверки уровня сигнала Wi-Fi;
- реализован отдельный метод для развертывания маршрута текущему подключенному дрону.

Заключение. В данной работе рассмотрена задача использования симуляторов для обучения программированию БПЛА. Из имеющихся технологий выбраны наиболее удобные и доступные инструменты для разработки, а также произведена их доработка с учетом заявленной сферы применения.

Список литературы

1. Богатов, Н. В. Управление и анализ полета квадрокоптера при задании сложной траектории движения / Н. В. Богатов, А. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2020. – № 4 (26). – С. 3–12. – DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-3-12
2. Хорсик, И. А. Взаимодействие Tello EDU и Turtlebot3 в помещениях со слабым сигналом при помощи локальной сети и операционной системы ROS / И. А. Хорсик, О. С. Амосов, С. Г. Амосова, Л. В. Бунина // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1 (109). – С. 639–652.
3. Карпеш, С. В. Система команд и управление движением малого беспилотного летательного аппарата / С. В. Карпеш, А. А. Талалаев, М. В. Хачумов // Авиакосмическое приборостроение. – 2020. – № 4. – С. 43–55. – DOI: 10.25791/aviakosmos.04.2020.1154
4. Курганова, Н. А. Использование квадрокоптеров Tello EDU при изучении темы «Линейные алгоритмы» в школьном курсе информатики // Информатика в школе. – 2023. – № 1 (180). – С. 13–21. – DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-1-13-21
5. Котенко, А. В. Использование квадрокоптеров Tello при изучении курса «Введение в программирование на языке Python» / А. В. Котенко, В. Е. Котенко // Информатика в школе. – 2023. – № 5 (184). – С. 74–81. – DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-5-74-81

UAV ROUTE BUILDING LIBRARY

Artem V. Ivanov, Dmitriy V. Morokhin

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This article discusses the refinement for writing programs library for building the route of unmanned aerial vehicles based on the Tello architecture. Coordinate plotting functions from the drone API have been added to the basic version, and has been made the transition to using the modern tello-asyncio control library.

Keywords: UAV; API; building a route.

УДК 004.75

АНАЛИЗ ФОРМАТА TLV ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Томуров Павел Дмитриевич

Научный руководитель: **Васяева Наталья Семёновна**

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: tomurov_pavel@mail.ru

В данной статье проводится анализ формата структурированного представления данных, который называется «TLV», что означает «Type-Length-Value – Тип-Длина-Значение». Формат используется для представления данных в именованных сетях данных (Named Data Networking – NDN). Конструкция TLV состоит из массива байтов, который содержит тип / метку (type / tag), указывающий, что это за данные, значение length, а также их длину (в байтах / октетах) и само значение. Подробно описаны общая структура формата TLV, его разновидности и проведен их анализ. Упомянуты алгоритмы кодирования / декодирования данных с использованием данного формата.

Ключевые слова: структурированное представление данных; формат TLV; именованные сети данных NDN; алгоритмы кодирования / декодирования данных.

Введение. В именованных сетях данных (Named Data Networking – NDN) именование контента играет важную роль. Стратегия наименования напрямую влияет на структуризацию данных в этих сетях. Конструкция сетей NDN предполагает иерархически структурированные имена. Например, видео может иметь название (в данном случае – абсолютный путь) /parc/videos/WidgetA.mpg, где «/» указывает границу между компонентами имени (это не часть имени). Такая иерархическая структура полезна для приложений для представления взаимосвязей между фрагментами данных.

Иерархия также позволяет масштабировать маршрутизацию.

Общие структуры запросов клиентов и пакетов данных, необходимые для того, чтобы позволить программам работать с блоками TLV в NDN, могут быть достигнуты с помощью правил наименования и структуризации контента, согласованных между провайдерами данных и клиентами. Например, это могут быть соглашения об именах, указывающих на управление версиями и сегментацию.

Формат кодирования данных TLV

Наименование в NDN-сетях очень важно. При правильном именовании данных для конкретной сети существенно ускоряется поиск данных по запросам от клиентов. На сегодня не существует идеальной стратегии наименования данных в NDN-сетях, но есть одна работа – «Теоретико-типовая модель кодирования NDN-TLV» [1].

TLV (Type-Length-Value – Тип-Длина-Значение) – это формат кодирования, используемый для структурированного представления данных. TLV [2] широко используется в компьютерных сетевых протоколах, приложениях для смарт-карт и других сценариях обмена данными. TLV состоит из трех частей: тип, длина, значение. Структура имени элемента контента строится на основе формата хранения данных TLV.

Тип – это чаще всего целое число, которое в текущей NDN-сети отвечает за определенный тип контента.

Длина – сколько весит закодированное значение контента в байтах.

Значение – само значение контента. В TLV-формате оно закодировано.

Возможна реализация вложенного блока TLV. В этом случае в TLV-блоке в качестве значения будут храниться другие TLV-блоки; узлы, отправляющие сообщения (пакеты данных), – кодировать информацию в формате TLV; клиентские узлы, получающие такие сообщения, – декодировать их для извлечения информации. Кодировщик TLV считывает данные / сообщение и формирует поток байтов. Декодер TLV выполняет обратное действие.

Преимущества формата TLV:

- 1) позволяет гибко структурировать данные. Данные могут быть организованы в логические группы. Поле длины позволяет представлять данные переменной длины;
- 2) является расширяемым, что означает, что в формат можно добавлять новые теги, не требуя внесения изменений в существующий код. Это упрощает добавление новых функций в существующую систему;
- 3) служит эффективным способом хранения и передачи данных. Использование двоичного формата позволяет передавать данные быстрее и с меньшими затратами, чем при использовании текстовых форматов;
- 4) использование полей длины в формате TLV упрощает обнаружение ошибок в данных. Если длина поля не соответствует ожидаемому значению, то, вероятно, произошла ошибка.

Разновидности формата TLV

У формата TLV несколько разновидностей. Какую использовать, разработчик решает в зависимости от поставленных задач. В таблице 1 представлены виды TLV-формата.

Таблица 1

Виды TLV-формата

Вид TLV-формата	Описание
TVL	Порядок структурирования такой: тег, значение, длина. Этот формат иногда используется в устаревших системах, но он менее распространен, чем формат TLV
LV	Нет поля тега. Этот формат проще, чем TLV, но он не предоставляет никакой информации о значении или назначении данных
TFLV	В этом формате есть дополнительное поле флагов (поле для характеристики состояния объекта) для конкретного типа
Вложенный TLV (Nested TLV)	Поле значения содержит вложенные структуры TLV, позволяющие представлять более сложные данные. Это часто используется в протоколах, требующих иерархических или вложенных структур данных
Расширенный TLV (Extended TLV)	Включает дополнительное поле extended в теге, которое предоставляет дополнительную информацию о назначении тега или контекста. Это обеспечивает большую гибкость в использовании тегов, а также лучшую поддержку обратной совместимости. То есть декодировать намного проще
Двоичный TLV (Binary TLV)	Вариант формата TLV предназначен для использования в низкоуровневом системном программировании. Он использует поля фиксированной ширины для тега, длины и значения и часто применяется во встроенных системах и низкоуровневых сетевых протоколах

На рисунке 1 представлена структура пакета данных, закодированного в формате вложенного блока TLV. В данном случае он трехуровневый.

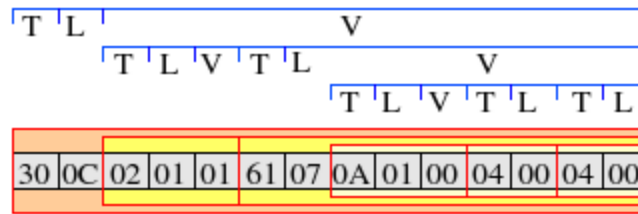


Рис. 1. Пакет данных, закодированный в формате вложенного блока TLV

Алгоритмы кодирования / декодирования данных с использованием формата TLV

Под кодированием понимается представление контента в виде массива байт, а под декодированием – возвращение массива байт в первоначальный вид (число, блок TLV и т. д.). В списке представлены объекты, которые могут быть закодированы и раскодированы при работе с форматом TLV:

- 1) натуральное число;
- 2) поля T-NUMBER, L-NUMBER (это поля для тега и длины соответственно);
- 3) строка байтов;
- 4) список (это может быть массив любых объектов);
- 5) блок TLV.

На рисунке 2 представлен алгоритм для кодирования натурального числа (в виде кода), дано описание самого алгоритма кодирования.

```

/// <summary>
/// Кодирование натурального числа
/// </summary>
static byte[] Encoding_Natural_Number(ulong v)
{
    _ = new List<byte>().ToArray();
    byte[] result;
    if (v <= 0xff) {
        result = BitConverter.GetBytes(Convert.ToByte(v));
    }
    else if (v <= 0xffff) {
        result = BitConverter.GetBytes(Convert.ToUInt16(v));
    }
    else if (v <= 0xffffffff) {
        result = BitConverter.GetBytes(Convert.ToUInt32(v));
    }
    else {
        result = BitConverter.GetBytes(Convert.ToUInt64(v));
    }
    return result;
}

```

Рис. 2. Алгоритм для кодирования натурального числа

На входе – целое число v .

Если $v \leq 255$, то v кодируется одним байтом (0-255). 2^8 .

Иначе, если $v \leq 65\,535$, то v кодируется двумя байтами (0-65535). 2^{16} .

Иначе, если $v \leq 4\,294\,967\,295$, то v кодируется четырьмя байтами (0-4294967295). 2^{32} .

Иначе v кодируется восьмью байтами (0-18 446 744 073 709 551 615). 2^{64} .

Выводы. Формат структурирования данных TLV очень масштабируемый и удобный. Он идеально подходит для работы с данными в сетях NDN. Благодаря своей гибкости он может быть применен для работы с любыми данными любых форматов. Алгоритмы кодирования / декодирования для этого формата также можно модернизировать, улучшать – все в зависимости от особенности решаемых разработчиком задач.

Список литературы

1. Ma, Xinyu. A Type-Theoretic Model on NDN-TLV Encoding // Association for Computing Machinery, 9th ACM Conference on Information-Centric Networking, September 19–21, 2022 / Xinyu Ma, Alexander Afanasyev, Lixia Zhang. – 2022. – P. 91–102.
2. Afanasyev, A. NFD developer's guide // Technical Report NDN-0028, Revision 2. – 2016. – P. 29–31.

TLV FORMAT ANALYSIS FOR STRUCTURED DATA REPRESENTATION

Pavel D. Tomurov, Natalia S. Vasyaeva

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This article analyzes the structured data representation format, which is called TLV. TLV stands for Type-Length-Value – Type-Length-Value. The format is used to represent data in Named Data Networks (NDN). The TLV construct is an array of bytes that contains a type/tag indicating what kind of data it is, a length value indicating their length (in bytes/octets), and the value itself. The article describes in detail the general structure of the TLV format, its varieties and their analysis. Algorithms for encoding/decoding data using this format are also described.

Keywords: structured data representation; TLV format; Named Data Networking – NDN; data encoding/decoding algorithms.

УДК 004.75

ТЕОРЕТИКО-ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ КОДИРОВАНИЯ NDN-TLV

Томуров Павел Дмитриевич

Научный руководитель: Васяева Наталья Семёновна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: tomurov_pavel@mail.ru

В статье проводится анализ именованных сетей данных (Named Data Networking – NDN). Описан процесс обмена информацией между узлами-клиентами и узлами-провайдерами, исследуются методы кодирования/декодирования пакетов данных в этих сетях на основе теоретико-типовой модели кодирования NDN-TLV. Проведен анализ, выявлены недостатки типовой модели кодирования пакетов, предложены способы усовершенствования модели.

Ключевые слова: именованные сети данных NDN; методы кодирования/декодирования пакетов данных; теоретико-типовая модель кодирования NDN-TLV.

Введение

Информационно-ориентированная сеть (Information Centric Networking – ICN) – это новая концепция сетевой архитектуры, разработанная для замены текущей широко используемой

хост-ориентированной архитектуры, по сравнению с которой у неё есть множество преимуществ в обеспечении безопасности данных и клиентов сети. В связи с постоянным ростом объёма хранимой информации требования к технологиям хранения данных в информационно-ориентированных сетях становятся всё жёстче, поэтому особенно актуальными являются вопросы, связанные с разработкой новых методов упорядочивания и хранения данных в сетях ICN, позволяющих производить быстрый поиск требуемых данных.

Основная идея информационно-ориентированной сети заключается в том, что данные более важны, чем узел, предоставляющий доступ к ним.

Именованные сети данных (Named Data Networking – NDN)

Существует несколько видов информационно-ориентированных сетей. Самый продвинутый и проработанный – *именованные сети данных* (Named Data Networking – NDN). Большинство исследований, направленных на поиск решения по улучшению работы информационно-ориентированных сетей, базируются на NDN-сетях. Сети NDN – технология, которая только развивается и пока что открыто не применяется для разработки реальных сетей.

Среди множества направлений исследований в области NDN-сетей есть такие:

- *наименование контента*: наименование определяет структуру имени, отражающую часть информации, подлежащей передаче. Имена зависят от местоположения и бывают плоскими или иерархическими;
- *разрешение имён и маршрутизация данных*: подразумевают сопоставление имени контента с провайдером, который может предоставить эту информацию. Маршрутизация данных включает в себя создание пути для передачи информации от провайдера к клиентскому узлу;
- *безопасность данных*: тесно связана с наименованием, так как подразумевает создание криптографического подписания контента провайдером, а также шифрование передаваемой информации. Расшифруется информация уже на клиентском узле;
- *кэширование контента*: это применение существующих, а также создание своих алгоритмов кэширования [1; 2].

Базовые алгоритмы кэширования:

- 1) LCE (Leave Copy Everywhere) – алгоритм кэширования, при котором данные будут сохранены в каждом узле на пути от источника данных к узлу-клиенту;
- 2) LCD (Leave Copy Down) – алгоритм кэширования, при котором данные будут сохранены только в соседнем узле от узла-источника, на пути от источника данных к узлу-клиенту;
- 3) Copy with Probability (Prob) – алгоритм кэширования, при котором данные будут сохраняться в каждом узле на пути от источника к пользователю с заданной вероятностью p ;
- 4) ProbCache (Probabilistic caching) – алгоритм кэширования, при котором данные будут сохранены в каждом узле на пути от источника к клиентскому узлу, но с определенной вероятностью p , которая рассчитывается на основании расстояния между клиентским узлом и источником данных.

Хоп – это процесс передачи сетевого пакета между узлами в сети. Вероятность, с которой данные будут кэшированы в узле, определяется отношением между числом хопов провайдер-клиент и клиент-провайдер.

Цель работы – произвести анализ именованных сетей данных NDN и типовой модели кодирования информации, применяемой к этим сетям.

Обмен информацией в сетях NDN

Обмен информацией между провайдером и клиентом осуществляется специальными пакетами с помощью работы особых структур в архитектуре сетей NDN. Есть два вида пакета в NDN: пакет интереса (interest packet) и пакет данных (data packet). *Пакет интереса* – это запрос информации с клиентского узла, а *пакет данных* – ответ провайдера на запрос с клиентского узла. Пакет интереса состоит из названия желаемых данных и других параметров, используемых для их пересылки сетью NDN. Пакет данных содержит название данных, запрашиваемый контент и подпись производителя данных. Они представлены на рисунке 1.

Пакет интереса	Пакет данных
Наименование /file/a	Наименование /file/a
Параметры для пересылки пакета <Различные параметры>	Контент 0a 0b 0c 0d
	Подпись производителя 16 04 6b 2e

Рис. 1. Пакет интереса и пакет данных в NDN

Особые структуры в архитектуре NDN-сетей [3] – это таблица ожидающих интересов (Pending Interest Table – PIT), база пересылочной информации (Forwarding Information Base – FIB), хранилище контента (Content Store – CS). Сначала запрос попадает в PIT, далее, когда доходит его очередь, – в FIB. После этого с помощью алгоритма поиска сеть находит хранилище контента (CS) с информацией, которую требует запрос. Как только информация найдена, формируется пакет данных. Он идёт по сети, следуя обратной траектории запроса, и попадает на клиентский узел. Запрос удаляется из PIT и FIB.

У NDN есть три основных концепции, отличающие NDN от других сетевых архитектур:

1) данные имён приложений и имена данных могут напрямую использоваться при пересылке сетевых пакетов;

2) связь NDN защищена на основе данных, то есть каждый фрагмент данных (называемый пакетом данных) криптографически подписывается его производителем, а передаваемые данные или компоненты имени также зашифровываются в целях конфиденциальности;

3) NDN использует уровень пересылки с отслеживанием состояния, в котором пересылающие устройства сохраняют состояние для каждого запроса данных (называемого пакетом Interest) и стирают состояние при возврате соответствующего пакета данных.

Интерпретация результатов исследования

Типовая модель кодирования в NDN-сетях

В именованных сетях данных все пакеты кодируются в формате тип-длина-значение. В данном случае кодирование – это наименование контента. При правильном наименовании/кодировании существенно ускоряется поиск информации в NDN-сетях.

Структура имени элемента контента строится на основе формата хранения данных TLV [4]. TLV – Type Length Value – тип, длина, значение. Тип – это чаще всего целое число, которое в текущей NDN-сети отвечает за определённый тип контента; длина – сколько весит закодированное значение контента в байтах; значение – само значение контента. В TLV-формате оно закодировано.

Пакет данных, закодированный в формат TLV, представлен на рисунке 2. На рисунке названия типов подчеркнуты, а длины выделены *курсивом*. В данном случае у строки (string) тип обозначен числом 08 – «file» и «a».

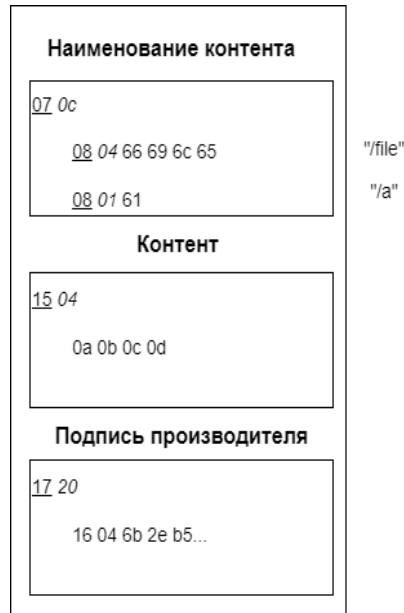


Рис. 2. Пакет данных сетей NDN, закодированный в формат TLV

Для каждого элемента пакета данных (наименование контента, контент, подпись производителя) разработчик задаёт свой тип. В типовой модели кодирования NDN-TLV для имени, контента и подписи определены типы 07, 15 и 17 соответственно. Они заданы целыми числами. Также в модели кодирования представлены алгоритмы для кодирования и декодирования данных различных типов:

- кодирование натурального числа;
- кодирование числа TL number. TL number – тип, определённый для полей TLV-TYPE и TLV-LENGTH, который представляет собой 64-разрядное целое число без знака;
- кодирование строки байтов и заполнителя (заполнитель нужен, когда значение не требуется);
- кодирование блока TLV;
- кодирование списка. Списком может быть массив любых объектов;
- декодирование натурального числа;
- декодирование числа TL number;
- декодирование строки байтов;
- декодирование блока TLV. Анализатор блока TLV вызывает анализатор номера типа, длины и значения. Всё это по очереди. На входе – строка байтов, которая должна декодироваться в объект TLV-блок;
- декодирование списка. Анализатор/парсер списка [t] повторяет процедуру парсинга t до тех пор, пока не произойдёт сбой, после каждой итерации цикла результаты сохраняются в список.

Выводы и дальнейшая работа

В текущей модели кодирования NDN-TLV представлены алгоритмы кодирования и декодирования пакетов данных. Пакеты данных сформированы случайным образом без привязки к файлам. Нет исследований, где эта модель применялась бы для кодирования/декодирования реальных пакетов данных NDN-сетей, сформированных из файлов.

Таким образом, пока что данная модель применяется для кодирования/декодирования случайных пакетов данных (строк байтов) и не применяется для построения сети и базы данных с реальными файлами и обменом информацией между клиентами и поставщиками данных.

Планируется создать прототип программной модели, в котором предусмотрено:

- 1) формирование пакетов интереса и пакетов данных на основе реальных запросов и файлов;
- 2) кодирование/декодирование этих пакетов.

Планируется тестирование представленной модели на возможность поиска информации в спроектированной базе данных с применением данной модели кодирования и в случае каких-либо проблем – усовершенствование модели.

Список литературы

1. Afanasyev, A. NFD developer's guide // Technical Report NDN-0028, Revision 2. – 2016. – P. 29–31.
2. Ma, Xinyu. A Type-Theoretic Model on NDN-TLV Encoding // Association for Computing Machinery, 9th ACM Conference on Information-Centric Networking, September 19–21, 2022 / Xinyu Ma, Alexander Afanasyev, Lixia Zhang. – 2022. – P. 91–102.
3. Якименко, С. И. Аспекты кэширования в информационно-ориентированных сетях // Современные сетевые технологии. – 2022.
4. Навроцкий, Я. Ю. Реализация политик кэширования в информационно-ориентированных сетях / Я. Ю. Навроцкий, Н. В. Пацей // Труды БГТУ. – 2018. – С. 99–103.

A TYPE-THEORETIC MODEL ON NDN-TLV ENCODING

Pavel D. Tomurov, Natalia S. Vasyaeva

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This article analyzes Named Data Networks (NDN). The process of information exchange between client nodes and provider nodes is described, methods of encoding/decoding data packets in these networks based on the model-theoretic NDN-TLV encoding are investigated. The analysis was carried out, the disadvantages of the typical package encoding model were identified, and ways to improve the model were proposed.

Keywords: Named Data Networking – NDN; methods of encoding/decoding data packets; type-theoretic model on NDN-TLV encoding.

УДК 519.711

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ

Чесноков Сергей Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: shesnokov@gmail.com

В статье основное внимание уделяется эволюционным стратегиям и их практическому применению в современных условиях развития методов машинного обучения. Рассматриваются понятие генетических алгоритмов и их развитие: генетическое программирование, дифференциальная эволюция, стратегии эволюции и эволюционное программирование. Показано множество современных практических применений и модификаций ранних эволюционных методов. Обозначены проблемы и области исследований для семейства эволюционных алгоритмов. Отдельно рассматривается применение

стратегий эволюции в машинном обучении как достаточно мощной альтернативы традиционным методам оптимизации в задачах обучения с подкреплением.

Ключевые слова: машинное обучение; оптимизация; градиентный спуск; генетические алгоритмы; генетическое программирование; дифференциальная эволюция; стратегии эволюции; эволюционное программирование; обучение с подкреплением.

Введение. В настоящее время в связи с развитием глубокого обучения, в рамках которого искусственные нейронные сети обучаются на огромных объемах данных, формируются модели нейросетей для решения прикладных задач. Одно из ключевых направлений улучшения эффективности и точности моделей глубокого обучения связано с поиском новых методов оптимизации, демонстрирующих лучшие результаты в плане снижения времени и вычислительных затрат. Не случайно одним из актуальных направлений исследований являются подходы к методам оптимизации с привлечением основ генетических алгоритмов.

Все семейство алгоритмов эволюционной оптимизации называется **алгоритмами эволюционных вычислений (ЕС)**. В области эволюционных вычислений выделяют следующие: генетический алгоритм (GA) [1], генетическое программирование (GP) [2], алгоритмы дифференциальной эволюции (DE) [3], стратегии эволюции (ES) [4] и эволюционное программирование (EP) [5]. Каждый из этих методов имеет множество реализаций и применяется для решения различных прикладных задач.

Цель работы – представить краткий обзор практического применения эволюционных алгоритмов и стратегий, преимущественно в задачах машинного обучения.

Обзор эволюционных вычислений (ЕС)

Генетический алгоритм (Genetic Algorithm, GA) – один из старейших и наиболее известных методов оптимизации, основанных на принципах естественного отбора и генетики [1]. В GA поиск пространства решений имитирует естественный процесс, происходящий в окружающей среде, и учитывается дарвиновская теория эволюции видов. В генетическом алгоритме имеется понятие популяции особей, и каждая из них, называемая хромосомой, представляет собой потенциальное решение проблемы.

Решаемая задача представляется целевой функцией, и в зависимости от того, насколько индивид соответствует целевой функции, ей приписывается значение, отражающее его качество. Эта величина называется приспособленностью (fitness) и является основным фактором оценки. Индивиды с высокой оценкой имеют больше шансов быть отобранными в новое поколение популяции.

При реализации генетического алгоритма обычно рассматриваются **три оператора**:

- **селекция или отбор** (новая популяция особей создается на основе значений приспособленности особей из предыдущего поколения);
- **скрещивание или кроссовер** (части особей обмениваются между двумя особями, отобранными для скрещивания);
- **мутация** (значения отдельных генов изменяются случайным образом).

Генетические алгоритмы – универсальный инструмент оптимизации. Используя GA, мы можем решать задачи оптимизации с ограничениями, а также задачи мультимодальной, непре-

рывной, комбинаторной и многокритериальной оптимизации. На рис. 1 представлена программа-симулятор на основе генетического алгоритма, которая оптимизирует форму транспортного средства при многократно ухудшающихся дорожных условиях.

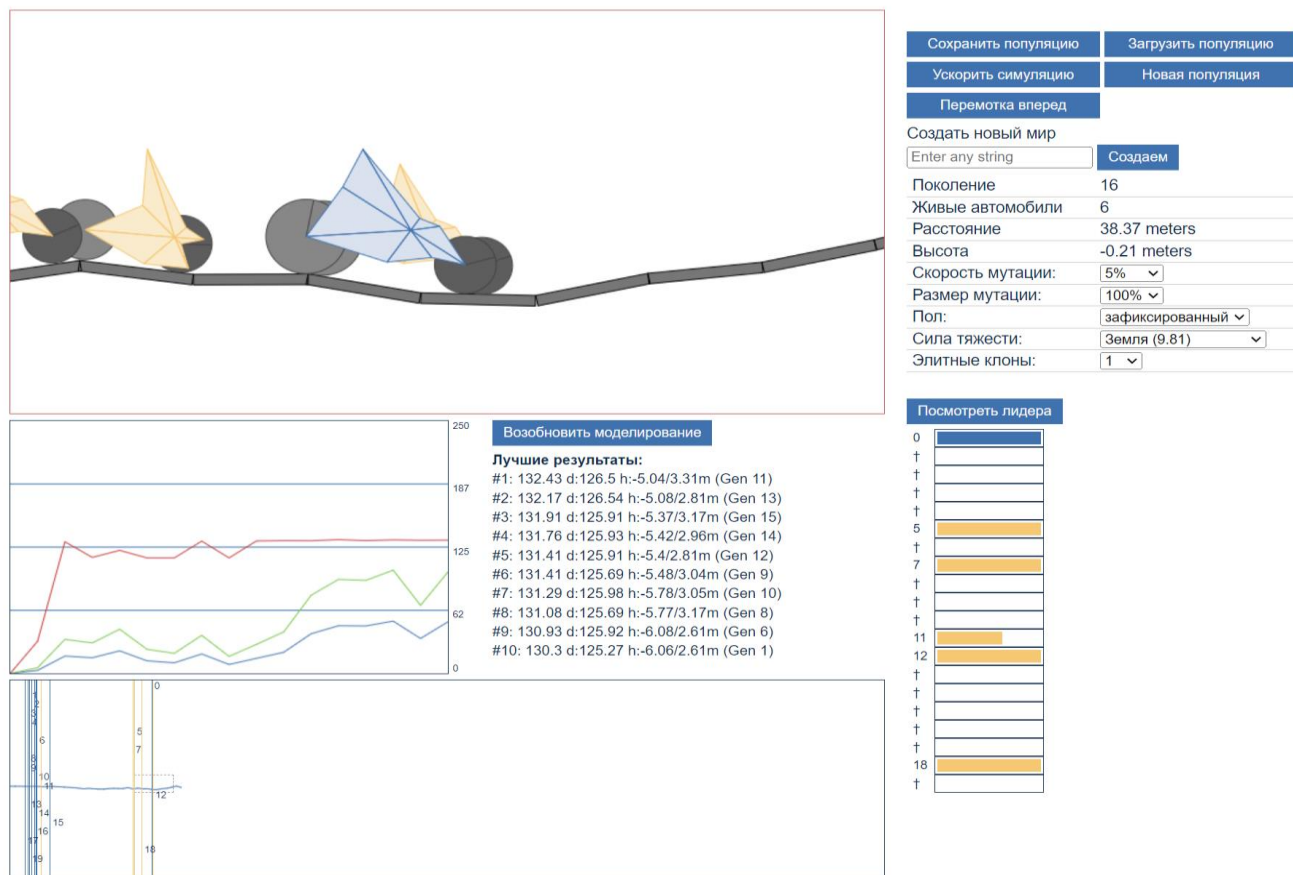


Рис. 1. Симулятор оптимизации двухколесных форм транспортных средств для повышения проходимости на основе генетического алгоритма

Существует **широкий спектр реальных применений ГА**, например:

- решение задачи оптимизации компоновки солнечных батарей на вращающейся модели стратосферного дирижабля с помощью численных методов. Результаты показывают, что используемые методы ГА полезны на этапе подготовки к установке гибких солнечных батарей большой площади. За счет оптимизации размещения солнечных батарей значительно улучшается выходная мощность солнечной панели;
- создание модели маршрутизации локальных запасов скоропортящихся продуктов. Модель объединяет три уровня принятия решений в цепочке поставок, такие как количество и расположение необходимых складов, уровень запасов у каждого розничного продавца и маршруты, по которым движется каждое транспортное средство. Модель является NP-трудной (недетерминированная полиномиальная трудность по времени), поэтому применяется подход на основе ГА для эффективного решения данной проблемы. Это позволяет получить качественное, близкое к оптимальному, решение за разумное время;

- многоцелевая оптимизация эксплуатационных затрат на кондиционирование помещений и тепловой комфорт для достижения высокого уровня энергоэффективности здания. Основная цель – оптимизировать почасовые заданные значения температуры с горизонтом на сутки вперед на основе прогноза погодных условий и профиля занятости. По сравнению со стандартной стратегией управления подход на основе ГА обеспечивает снижение эксплуатационных расходов до 56 %;

- минимизация средней задержки на городском регулируемом перекрестке в условиях перенасыщения. Устранение заторов на городских дорогах – насущная необходимость в области дорожной инженерии. Одним из ключевых решений по уменьшению заторов является эффективность светофорной сигнализации. Существующая система управления светофорами не полностью оптимизирована для работы в условиях перенасыщения. Результаты моделирования показывают, что ГА способна управлять сигналами светофора, чтобы минимизировать среднюю задержку до 55 с на автомобиль.

Генетическое программирование (Genetic Programming, GP) [2] является относительно новым направлением, оно рассматривается как специализированное направление ГА, которое работает с типами решений, используя генетически модифицированные операторы. Генетическое программирование было введено как попытка найти способ автоматической генерации программных кодов, когда известны критерии оценки их правильной работы.

Поскольку искомое состояние представляет собой программу, возникающие решения кодируются в виде деревьев, а не линейных хромосом (битов или чисел), широко распространенных в ГА. Разумеется, генетические операторы специализированы для работы с деревьями, например, скрещивание – замена поддеревьев, мутация – изменение узла или листа.

Генетическое программирование имеет **множество практических приложений**, например:

- создание модели для прогнозирования маршрутов паводков в естественных каналах с использованием алгоритма программирования экспрессии генов (GEP), который является одним из расширений алгоритма GP. Метод GEP использует несколько гидрологических параметров, таких как приток, отток и время. Эффективность предлагаемых моделей оценивается двумя показателями согласия;

- разработка модели трансмиссии гибридных электрических судов (AES) с использованием GP применяется для определения рабочего напряжения FC («топливный элемент» Fuel Cell – это устройства, которые преобразуют химическую энергию топлива (например, водорода) в электрическую энергию через электрохимическую реакцию) на основе тока нагрузки, расхода воздуха FC и расхода топлива. Предложенный подход сохраняет производительность FC и снижает расход топлива и, следовательно, обеспечивает оптимальное распределение мощности между FC и литий-ионной батареей при использовании AES;

- построение алгоритма GP для разработки моделей прогнозирования ухудшения состояния покрытия городской дорожной сети. Разрабатываются модели для прогнозирования развития повреждений дорожного покрытия, таких как растрескивание, выбоины, колеи и шероховатости. Модели GP с высокой точностью прогнозируют разрушение дорожного покрытия и помогают лицам, принимающим решения, адекватно и своевременно выделять средства на сохранение городской дорожной сети.

Дифференциальная эволюция (Differential Evolution, DE) – это тип эволюционного алгоритма, применяемый для оптимизации функций в пространстве непрерывного поиска. Пре-

имущества DE, по сравнению с GA, заключаются в том, что он прост в применении и эффективно использует память, имеет меньшую вычислительную сложность и меньшие вычислительные затраты.

Основная идея алгоритма DE связана с вычислением разницы между двумя особями, случайно выбранными из популяции (DE определяет градиент функции в пределах заданной области, а не в одной точке). Таким образом, алгоритм DE предотвращает «застывание решения» в локальном экстремуме оптимизированной функции. На рис. 2. показано, как алгоритм DE последовательно приближает минимум функции.

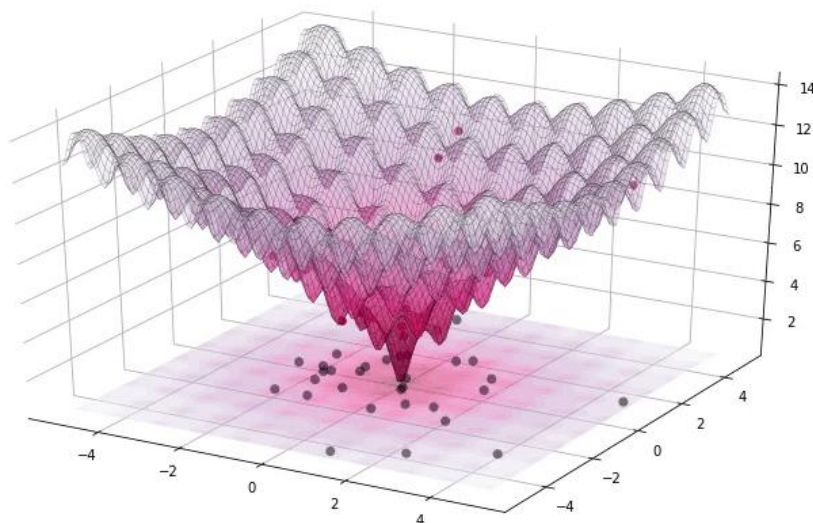


Рис. 2. Пример DE, итеративно оптимизирующего 2D-функцию Экли

Оптимизация функций черного ящика весьма распространена в реальных задачах, где оптимизируемая функция очень сложна (может включать использование симуляторов или внешнего программного обеспечения для вычислений). Для решения подобных задач DE работает очень хорошо, и именно поэтому он популярен при решении задач во многих различных областях. Алгоритм DE также нашел **множество реальных применений**, среди них:

- использование многокритериального гибридного алгоритма DE+PSO (Particle Swarm Optimization – это алгоритм оптимизации, основанный на наблюдении за групповым поведением, например, стаи птиц или косяка рыб; применяется для поиска оптимальных решений в многомерных пространствах) для создания набора решений Парето при решении задачи двух-целевого планирования спасательных машин и распознавания лесных пожаров. Создается многокритериальная модель планирования для борьбы с лесными пожарами с учетом ограничений спасательных транспортных средств, где учитывается модель распространения огня для лучшего описания характера лесных пожаров. Данные подходы способны быстро давать удовлетворительные решения Парето по сравнению с алгоритмами GA и PSO;
- разработка алгоритма DE для оптимизации компоновки ветряных электростанций с целью максимизации выходной мощности. Благодаря новому механизму кодирования в DE размерность пространства поиска уменьшена до двух, а критический параметр (то есть размер популяции) исключен. По сравнению с другими методами предлагаемый подход обеспечивает наилучшую общую производительность с точки зрения выходной мощности и времени выполнения.

Стратегии эволюции (*Evolution Strategy, ES*) отличаются от GA главным образом процедурой отбора. В GA следующее поколение создается из родительской популяции путем выбора особей в зависимости от их значения приспособленности, сохраняя постоянный размер популяции. В ES создается временная популяция; она имеет другой размер, чем родительская популяция (в зависимости от предполагаемых параметров λ и μ). На этом этапе значения приспособленности не важны. Особи временной популяции подвергаются скрещиванию и мутациям. Из таких популяций предполагаемое количество лучших особей отбирается в следующее поколение популяции (детерминированным способом).

ES работают с векторами чисел с плавающей запятой, тогда как классический GA – с двоичными векторами. Основными алгоритмами ES являются: $ES(1+1)$, $ES(\mu + \lambda)$, $ES(\mu, \lambda)$.

Эволюционные стратегии нашли **применение в следующих проектах**:

- разработка алгоритма параллельной оптимизации ES для минимизации общего веса элемента в каждой испытываемой стальной раме. Для сравнительного анализа затрат рассматриваются стальные каркасы с различной конфигурацией соединений балок, колонн и связей. В качестве примеров для численной проверки выбираются многоэтажные здания (10, 20 и 30 этажей). На основе полученных результатов определяются рекомендации по выбору экономически целесообразных каркасов для проектирования многоэтажных зданий со стальными конструкциями;

- решение проблемы диагностики неисправностей беспроводных датчиков на основе анализа данных слияния. Модель диагностики неисправностей предлагается в виде иерархической модели, основанной на правилах доверия, а алгоритм CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy – это алгоритм эволюционной оптимизации, который используется для решения задач оптимизации с непрерывными переменными и относится к классу эволюционных стратегий) используется для оптимизации исходных параметров предлагаемой модели. Данный подход является более эффективным по сравнению с моделью нейронной сети обратного распространения ошибки и нечеткой экспертной системой;

- создание алгоритма CMA-ES для планирования задач в среде облачных вычислений. Необходимость планирования работы пользователя является важной задачей в области облачных вычислений, и причины этого многообразны: постоянно растущие достижения информационных технологий, увеличение количества приложений и потребностей пользователей в приложениях высокого качества, популярность облачных вычислений среди пользователей и их быстрый рост в последние годы. Использование данного алгоритма ведет к сокращению времени выполнения всех задач, по сравнению с алгоритмом с наименьшим временем обработки, алгоритмом с самым длинным временем обработки, а также алгоритмами GA и PSO.

Эволюционное программирование (*Evolutionary Programming, EP*) было разработано как инструмент для открытия грамматики неизвестного языка. Однако EP стало популярным, когда было предложено в качестве метода численной оптимизации (EP в этом смысле похоже на ES).

Эволюционное программирование нашло **применение в прикладных задачах**:

- разрабатывается эволюционная нейронная сеть, архитектура которой и веса связей изменяются одновременно. Эта нейронная сеть основана на алгоритме EP и используется в анализе для подземных работ. В качестве численного примера для проверки точности представленного обратного анализа выбрана подземная выработка угольной шахты. Метод обратного анализа является высокопроизводительным для использования в подземных сооружениях;

- создание алгоритма EP для поиска весов и порогового значения в нейронной сети, которая применяется для управления светодиффузором. В соответствии с историческими данными о

транспортном потоке перекрестка прогнозируются данные о транспортном потоке следующего узла. Благодаря прогнозируемым данным частота светофора может быть перенастроена, чтобы уменьшить заторы на дорогах и другие проблемы с дорожным движением. Полученные результаты показывают, что соединение алгоритма EP с нейронной сетью положительно влияет на оптимизацию светофора;

- подход к навигации по трехмерной местности с использованием лучших точек обзора. Концепция энтропии точек обзора используется для определения наилучшего вида, а для расчета видимости используется жадный выбор p -лучших видов. Для связи вычисленных точек зрения используется алгоритм EP для задачи коммивояжера. Вычисленные и запланированные точки обзора уменьшают человеческие усилия, когда используются в качестве отправных точек для обхода сцены.

Стратегии эволюции (ES) в машинном обучении представляются как метод градиентного спуска, который использует градиенты, оцененные на основе стохастических возмущений вокруг текущего значения параметра. Существует множество преимуществ ES, специфичных для задач обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL), но в данном случае будем рассматривать общий метод оптимизации «черного ящика».

Стратегии эволюции оказались мощными методами обучения с подкреплением [6; 7; 8]. Они более устойчивы к шуму и неопределенности, чем альтернативные подходы, поскольку основаны на политике ранжирования [9], а не на оценке абсолютных прогнозов производительности или их градиентов. Это важная особенность, поскольку неопределенность и случайность возникают в RL из нескольких источников. Начальное состояние обычно варьируется, переходы состояний и сигналы вознаграждения могут быть стохастическими, а наблюдения состояния зашумленными.

Основное наблюдение таково: если f является дифференцируемой функцией по θ , его градиенты можно аппроксимировать следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} f(\theta) \approx \frac{1}{\sigma^2} \mathbb{E}_{\epsilon \sim N(0, \sigma^2)} \epsilon f(\theta + \epsilon). \quad (1)$$

Рассмотрим локальное приближение как разложение Тейлора второго порядка (записываем все для одномерного θ для упрощения обозначений, но разложение Тейлора второго порядка аналогично работает и в многомерном случае):

$$f(\theta + \epsilon) \approx f(\theta) + f'(\theta)\epsilon + \frac{f''(\theta)\epsilon^2}{2}. \quad (2)$$

Подставив (2) обратно в выражение (1), получим:

$$\mathbb{E}_{\epsilon \sim N(0, \sigma^2)} \epsilon f(\theta + \epsilon) = \mathbb{E}_{\epsilon \sim N(0, \sigma^2)} \left[f(\theta)\epsilon + f'(\theta)\epsilon^2 + \frac{f''(\theta)\epsilon^2}{2} \right] = f'(\theta)\sigma^2, \quad (3)$$

учитывая тот факт, что центральный момент p^{th} гауссианы всегда 0 для четных p .

На каждом этапе ES возмущает текущее значение параметра аддитивным гауссовским шумом, оценивает функцию с искаженными значениями, наконец, объединяет эти значения функции в оценку градиента и делает шаг в данном направлении.

На рис. 3 проиллюстрировано, как работает метод оптимизации 2D-функции.

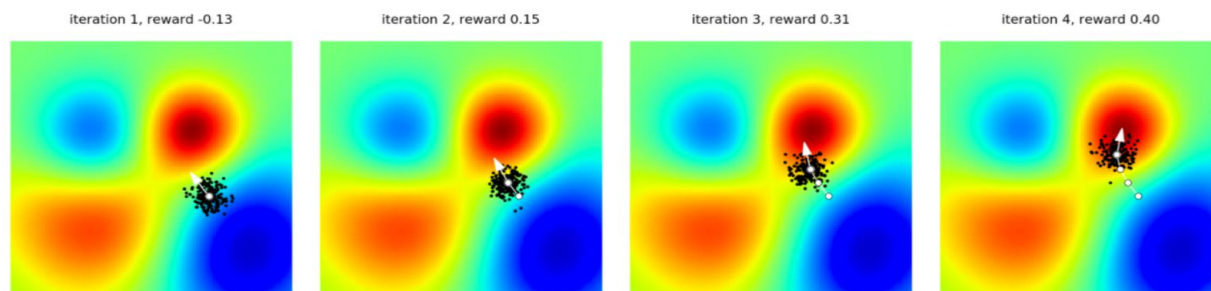


Рис. 3. Иллюстрация работы метода оптимизации 2D-функции на основе стратегии эволюции.

Процесс оптимизации ES в настройке только с двумя параметрами и функцией вознаграждения (красный = высокий, синий = низкий). На каждой итерации показано: текущее значение параметра (белым цветом), совокупность выборок (черным цветом) и предполагаемый градиент (белая стрелка)

Когда θ является многомерным, это приближение обычно имеет очень высокую дисперсию, поэтому не следует использовать его на практике, особенно когда можно рассчитать градиенты посредством обратного распространения ошибки.

ES может быть очень **конкурентоспособным методом** в сценариях, когда:

- имеется очень большое количество узлов для распределения вычислений;
- пространство параметров огромно, поэтому отправка значений параметров между узлами будет дорогостоящей;
- приходится иметь дело с недифференцируемыми целями, где метод стохастического градиентного спуска (SGD) не работает или требует приближений.

В области методов обучения с подкреплением, которая занимается изучением того, как программные агенты должны предпринимать действия в определенной среде с целью максимизации некоторого числового вознаграждения, **ES имеет множество преимуществ перед базовыми алгоритмами RL** (некоторые из них немного технические).

1. *Нет необходимости в обратном распространении ошибки.* ES требует только прямого прохождения и не требует обратного распространения ошибки (или оценки функции значения), что на практике делает код короче и в 2-3 раза быстрее. В системах с ограниченным объемом памяти также нет необходимости вести учет эпизодов для последующего обновления. Также нет необходимости беспокоиться о взрывном градиенте в RNN (Recurrent Neural Network – это тип нейронной сети, специально разработанный для обработки последовательных данных). Наконец, можно изучить гораздо более широкий функциональный класс архитектур, включая сети, не являющиеся дифференцируемыми (например, в двоичных сетях), или те, которые включают в себя сложные модули (например, поиск пути или различные уровни оптимизации).

2. *Высокая степень параллелизации.* ES требует, чтобы процессы обменивались между собой лишь несколькими скалярами, тогда как в RL необходимо синхронизировать целые векторы параметров, которые могут составлять миллионы чисел. Интуитивно понятно, что это происходит потому, что контролируются случайные начальные значения для каждого процесса. Поэтому каждый процесс может локально восстанавливать возмущения других процессов. Таким образом, все, что необходимо для взаимодействия между процессами, – это вознаграждение за каждое возмущение. В результате достигается линейное ускорение, когда для оптимизации добавляется порядка тысячи ядер центрального процессора.

3. *Более высокая надежность.* Некоторые гиперпараметры, которые сложно установить в реализациях RL, в ES не задействованы. Например, RL не является «безмасштабным», поэтому можно добиться очень разных результатов обучения (в том числе полного провала) с

разными настройками гиперпараметра пропуска кадров. ES работает одинаково хорошо при любом пропуске кадров.

4. *Структурированное исследование.* Некоторые алгоритмы RL (особенно градиентные политики) инициализируются со случайными значениями, что часто проявляется как «случайное дрожание» на месте в течение длительного времени. Этот эффект смягчается в Q-Learning (Q-Learning – это метод обучения с подкреплением, используемый для обучения агентов оптимальным стратегиям поведения в средах с неизвестной динамикой) благодаря эпсилон-жадным политикам, где максимальная операция может заставить агентов выполнять какое-то последовательное действие в течение некоторого времени. Подобно Q-Learning, ES не страдает от этих проблем, поскольку здесь можно использовать детерминированную политику и добиваться последовательного исследования.

Выводы. Подходы нейроэволюции могут конкурировать с методами обучения с подкреплением в современных тестах агент-среда, предлагая при этом значительные преимущества, связанные со сложностью кода и простотой масштабирования до крупномасштабных распределенных настроек. Одна из основных проблем применения ES заключается в том, что для его эффективной работы добавление шума в параметры должно привести к разным результатам для получения некоторого градиентного сигнала.

Также важно отметить, что ES нецелесообразно применять в задачах контролируемого обучения (например, классификация изображений, распознавание речи или большинство других задач в отрасли), где можно вычислить точный градиент функции потерь с помощью обратного распространения ошибки. Например, в экспериментах было обнаружено, что использование ES для оценки градиента в задаче распознавания цифр MNIST (объемная база данных образцов рукописного написания цифр) может быть в 1 000 раз медленнее, чем использование обратного распространения ошибки. Только в условиях обучения с подкреплением (RL), где приходится оценивать градиент ожидаемого вознаграждения путем выборки, ES становится конкурентоспособным и показывает хорошие результаты.

Список литературы

1. Holland, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Cambridge: MIT Press, 1975.
2. Koza, J. *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*. – Cambridge: MIT Press, 1992.
3. Storn, R. Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces / R. Storn, K. Price // *J Glob Optim.* – 1997. – No. 11. – P. 341–359.
4. Rechenberg, I. *Evolutionstrategie: optimierung technischer systeme nach prinzipien der biologischen evolution*. – Stuttgart: Frommann-Holzboog Verlag, 1973.
5. Fogel, L. J. *Artificial intelligence thorough simulated evolution* / L. J. Fogel, A. J. Owens, M. J. Walsh. – New York: Wiley, 1966.
6. Gomez, F. Accelerated neural evolution through cooperatively coevolved synapses / F. Gomez, J. Schmidhuber, R. Miikkulainen // *Journal of Machine Learning Research*. – 2008. – No. 9. – P. 937–965.
7. Igel, C. Neuroevolution for reinforcement learning using evolution strategies: in *Congress on Evolutionary Computation (CEC 2003)* // IEEE Press, 2003. – Vol. 4. – P. 2588–2595.
8. Gašperov, B. Leveraging More of Biology in Evolutionary Reinforcement Learning / B. Gašperov, M. Đurasević, D. Jakobovic // *Applications of Evolutionary Computation*. – 2024. – P. 91–114. – DOI: 10.1007/978-3-031-56855-8_6
9. Heidrich-Meisner, V. Variable metric reinforcement learning methods applied to the noisy mountain car problem / V. Heidrich-Meisner, C. Igel; in S. Girgin et al., editors, *European Workshop on Reinforcement Learning (EWRL 2008)*. Springer-Verlag, 2008. – No. 5323 in LNAI. – P. 136–150.

EVOLUTIONARY STRATEGIES IN MACHINE LEARNING

Sergey E. Chesnokov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article focuses on evolutionary strategies and their practical application in modern conditions of development of machine learning methods. The concept of genetic algorithms and their development are considered: genetic algorithm, genetic programming, differential evolution, evolution strategies and evolutionary programming. Many modern practical applications and modifications of early evolutionary methods are shown. Problems and areas of research for the family of evolutionary algorithms are identified. The use of evolution strategies in machine learning is considered separately, as a fairly powerful alternative to traditional optimization methods in reinforcement learning problems.

Keywords: machine learning; optimization; gradient descent; genetic algorithms; genetic programming; differential evolution; evolution strategies; evolutionary programming; reinforcement learning.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 693.554.36

К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СДВИГ В ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ «СЖАТИЕ-СДВИГ»

Поздеев Виктор Михайлович, Куклин Владимир Андреевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: PozdeevVM@volgatech.net; KuklinVA@volgatech.net

Описаны предложения по улучшению техники и программы эксперимента для исследования прочности железобетона на сдвиг (срез) при действии в плоскости среза напряжений от сил бокового обжатия. Приведены схемы геометрии экспериментальных образцов с указанием различных форм разрушения и схемы расположения вновь введенных элементов оснастки. Указаны первоочередные рекомендации для совершенствования экспериментального исследования.

Ключевые слова: прочность бетона; плоское напряженное состояние; сдвиг; сжатие; экспериментальное исследование.

Введение

Сегодня в строительной отрасли объективно существует запрос на создание новых научно-методических, технологических и нормативно-юридических инструментов проектирования. Они необходимы для анализа сложного пространственного НДС железобетона в панельных и каркасных конструкциях и для реализации индивидуальных (в том числе уникальных) архитектурных решений с высокой надежностью, особенно в условиях малых трудовых коллективов. Указанные аспекты наиболее актуальны при конструировании узлов.

В работе [1] приведена методика экспериментального исследования поведения бетона в узловых зонах конструкций путем определения зависимости прочности среза бетонных образцов на сдвиг (срез) при действии усилий бокового обжатия. Однако в ходе проведения экспериментов были выявлены существенные недостатки примененной геометрии экспериментальных образцов и схемы приложения нагрузок, которые приводили к нежелательным схемам разрушения образцов. В данной работе описаны мероприятия и решения по устранению названных недостатков и представлены результаты их практической реализации.

Цель работы – разработать и внедрить в программу эксперимента ряд мероприятий, позволяющих получать проектную схему разрушения S-образного бетонного образца при всех предусмотренных программой испытаний уровнях бокового обжатия.

Решаемые задачи:

- 1) проанализировать нежелательные формы разрушения экспериментальных S-образных бетонных образцов, полученные в ходе испытаний;
- 2) определить причины и механизмы их возникновения;

3) определить конструктивные и нагрузочные (силовые) факторы в существующей программе экспериментальных исследований, влияющие на образование нежелательных форм разрушения образцов;

4) разработать комплекс технических и методических мероприятий, позволяющих избежать образования нежелательных форм разрушения образцов без внесения изменений в общую расчетную модель эксперимента.

Техника эксперимента

Основным типом экспериментальных образцов выступает S-образный образец с одной плоскостью среза, предложенный в схеме А. А. Гвоздева и схеме ЦНИПС (Центрального научно-исследовательского института промышленных сооружений). Данный тип образца позволяет добиться высокой центровки площадок приложения нагрузки и, как следствие, избежать возникновения в плоскости сдвига нежелательных силовых факторов, что значительно повышает чистоту эксперимента. Также геометрия образца и расположение точек приложения нагрузки снижает вероятность перекоса образца в стенде и изменения НДС бетона в окрестности исследуемой области. Программа эксперимента подробно описана в [1].

При этом в схеме, предложенной А. А. Гвоздевым, не дается однозначных указаний по армированию экспериментальных образцов. Однако действующая схема приложения нагрузок объективно вызывает не только воздействия сдвига и сжатия в характерном сечении исследуемого образца (S-S), но и приводит к возникновению ряда силовых факторов в иных сечениях.

Так, на рисунке 1 показано, что сечение 1-1 испытывает внецентренное сжатие от воздействия плит пресса; сечения 2-2 и 3-3 также испытывают внецентренное сжатие от совместного воздействия плит пресса и винтового домкрата (пресс вызывает возникновение изгибающего момента, домкрат – сил сжатия); сечения 4-4 и 5-5 испытывают воздействие сдвига от плит пресса.

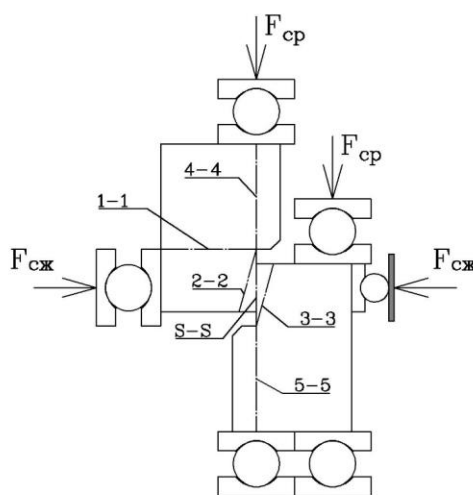


Рис. 1. Схема экспериментального S-образного бетонного образца с указанием сечений возможного разрушения

В схемах А. А. Гвоздева и ЦНИПС подразумевается, что характерное сечение S-S достигает разрушения в первую очередь относительно иных сечений при любых предусмотренных уровнях бокового обжатия и ступенях срезающей силы. Но в ходе испытаний установлено, что силовые факторы, действующие в иных сечениях, могут приводить образец к разрушению по ряду нежелательных схем без разрушения сечения S-S.

Анализ промежуточных данных испытаний и принятые конструктивные решения

Программа эксперимента подразумевает под искомой схемой разрушения образца срез (скол) бетона по характерному сечению S-S или образование системы наклонных трещин, пересекающих сечение S-S, и дальнейшее раздробление бетона образовавшихся сжатых полос. При этом допустимо образование трещин во всех номерных сечениях, указанных на рисунке 1, а также между нижними опорными площадками при условии замедления их раскрытия и затухания при образовании лидирующих наклонных трещин вблизи сечения S-S (рис. 2 – 1а).

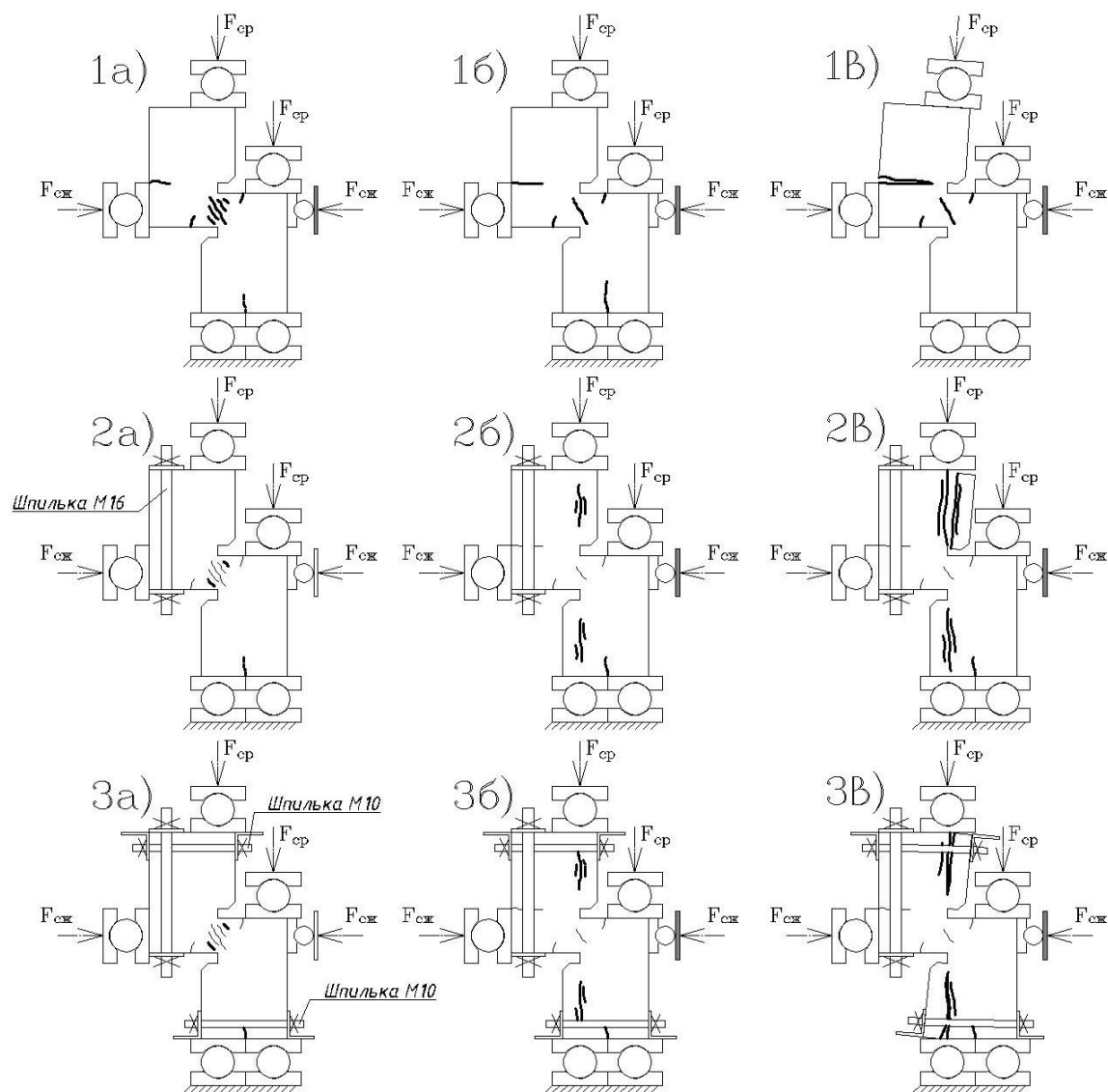


Рис. 2. Схемы разрушения экспериментальных образцов с указанием элементов внешнего армирования

В ходе испытаний первой серии образцов с проектным классом бетона В30 по прочности на сжатие образцы, испытываемые при уровне бокового обжатия в $0,4 R_b$ и $0,8 R_b$, дважды разрушались по внецентренно сжатому сечению 1-1 с раскрытием трещины, начинающейся от металлической площадки для передачи усилия бокового обжатия (рис. 2 – 1б) и последующим раздроблением бетона сжатой части вблизи ребра верхнего выреза (рис. 2 – 1в).

После этого был проведен расчет сечения 1-1 по действующим нормам [2] с учетом достигнутых в ходе испытания значений сил среза. Так как изменение зон приложения нагрузки могло привести к изменению общей расчетной модели эксперимента или к изменению конструктива существующей экспериментальной установки, было принято решение о применении внешнего армирования образца, расположенного вблизи вертикальной грани, на которой наблюдалось образование трещин.

Внешнее армирование выполнялось из накладок из полосовой стали толщиной 5 мм, стянутых двумя шпильками диаметром 16 мм. Таким образом, сечение 1-1 получило два предварительно напряженных арматурных стержня вблизи растянутой грани. Величина предварительного напряжения – затяжки гаек на шпильках – дополнительно не измерялась, так как наличие дополнительных сжимающих напряжений в данном направлении не вносит значительного вклада в НДС бетона вблизи характерного сечения S-S. Далее все испытания, предусмотренные программой эксперимента, продолжились с применением описанного внешнего армирования (рис. 2 – 2а).

В ходе испытаний второй серии образцов с проектным классом бетона B20 образец, испытываемый при уровне бокового обжатия в 0,8 R_b , разрушился по сечению 4-4, испытываемому воздействию среза. Разрушение сопровождалось появлением вертикальной трещины в сечении 4-4 (рис. 2 – 2б) с последующим хрупким отделением части бетона трещиной, начинающейся от середины верхней металлической площадки для передачи усилия среза и оканчивающейся вблизи ребра верхнего выреза (рис. 2 – 2в). Для предотвращения разрушения по подобной схеме также было принято решение использовать преднапряженное внешнее армирование. Исходя из геометрии расположения элементов силовой оснастки и измерительной аппаратуры, решили использовать хомуты из накладок, выполненных из металлического уголка 50х50 мм, и шпилек диаметром 10 мм. Хомуты располагались горизонтально вблизи опорных граней экспериментального образца так, чтобы шпильки пересекали сечения 4-4 и 5-5. Принятое решение не только усиливало образец внешним поперечным армированием, но и создавало поля напряжений сжатия, препятствующие появлению трещин в сечениях 4-4 и 5-5.

Принятые конструктивные решения использовались в дальнейшем во всех испытаниях, предусмотренных программой эксперимента, и позволили достичь искомой схемы разрушения образцов, испытываемых при ступенях обжатия от 0,1 до 0,8 R_b (рис. 2 – 3а). Один образец серии с проектным классом B20, испытываемый при уровне обжатия в 1,2 R_b вне основной программы эксперимента, показал нехарактерную схему разрушения образца по армированным (железобетонным) сечениям 4-4 и 5-5 (рис. 2 – 3б) с образованием вертикальных изгибных трещин с корнями вблизи вырезов и достижением горизонтальных шпилек предела текучести. С ростом нагрузки наблюдалось увеличение ширины раскрытия данных трещин, в то время как наклонные трещины вблизи характерного сечения S-S не развивались (рис. 2 – 3в). После снятия нагрузки экспериментальный образец своей целостности не потерял, полного закрытия изгибных трещин в сечениях 4-4 и 5-5 не произошло.

Рекомендации по совершенствованию программы эксперимента

Принимая во внимание, что в ходе эксперимента усилие среза, прилагаемое прессом, является заведомо неизвестной и одной из исследуемых величин и не может быть использовано в качестве расчетной нагрузки для применения методики расчета бетонных и железобетонных сечений, приведенной в [2], рекомендуется увеличивать количество экспериментальных образцов в каждой серии на 1-2 и проводить поисковое испытание при уровне бокового обжатия 0,8 R_b , направленное на выявление склонности образцов серии из рассматриваемого класса

бетона к разрушению по нежелательным схемам. При выявлении необеспеченности прочности иных сечений элемента, кроме характерного, рекомендуется вводить внешнее усиление напряженными хомутами или внутреннее армирование каркасами без предварительного напряжения. Площадь армирования можно определять по указаниям [2] или по данным расчета числовых моделей в различных программных комплексах.

Список литературы

1. Поздеев, В. М. К разработке методики экспериментального исследования прочности бетона на сдвиг в плоском напряженном состоянии *сжатие-сдвиг* / В. М. Поздеев, В. А. Ку克林, Д. А. Пекин // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия Технологическая. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. – 93 с.
2. СП63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003: нормативно-технический материал. – М.: [б. и.]. – 2012. – 155 с.

THE ENHANCEMENT OF AN EXPERIMENTAL STUDY METHOD INTO SHEAR STRENGTH FOR CONCRETE IN A PLANE COMPRESSION–SHEAR STRESS CONDITION

Victor M. Pozdeev, Vladimir A. Kuklin

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

It is described the enhanced technique and program of experiment for research into shear strength of concrete subjected to stresses of side compression forces, acting to shear planes. The scheme of sample geometry and destruction scenarios, the scheme of additional bench elements disposition are shown. Prior recommendations for development of experimental study are underlined as well.

Keywords: *concrete strength; plane stress condition; shear; compression; experimental study.*

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.791.3: 674.055

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

*Стародубцева Ольга Николаевна, Сластихина Светлана Викторовна,
Патерюхин Иван Сергеевич, Алибеков Сергей Якубович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: StarodubcevaON@volgatech.net

В статье представлена технология пайки твердосплавных пластин на деревообрабатывающий инструмент. Выделены критерии по подбору материала для составных частей режущего инструмента. Описаны причины внутренних напряжений при пайке. Представлены рекомендации по назначению вида припоя, подбору заготовок, подготовке контактных площадок к пайке. Определена важность зазора между индуктором и инструментом. Показано различие пайки однолезвийных и многолезвийных инструментов.

Ключевые слова: *твердосплавная платина; деревообрабатывающий инструмент; напряжения; пайка; припой; контактная площадка; зазор; индуктор.*

Введение

При работе режущие инструменты испытывают высокие нагрузки в виде давления, вибрации, температурного напряжения и деформации, поэтому инструменты наряду с высокой твердостью должны обладать и прочностью. Частично эту задачу решают составные инструменты, в которых корпус (державка) и режущая часть изготовлены из разных материалов. Составные инструменты изготавливаются двумя способами: с механическим креплением, путем пайки режущих пластин.

В деревообработке сборный инструмент с механическим креплением не получил широкого распространения, по этой причине пайка остается основным технологическим способом крепления при оснащении деревообрабатывающих инструментов. Это объясняется простотой конструкции паяного инструмента и технологического процесса пайки, надежностью и высокой производительностью.

Основная идея исследования и ее практическое решение

Качество пайки зависит не только от соблюдения технологии, но и от грамотного подбора паяных материалов. Для крепежной части используют конструкционные и инструментальные стали, которые по химическому составу относятся к группе углеродистых и низколегированных. Стали в инструменте сварной конструкции используются в отожженном состоянии.

Для пластин режущей части используют быстрорежущие стали либо твердые сплавы. Выбор марки инструментального материала для изготовления того или иного металлорежущего инструмента зависит от вида инструмента, его размеров, обрабатываемого материала и условий работы. Для изготовления ручных режущих инструментов, работающих при малых скоростях резания, выбирают углеродистые или легированные стали. При обработке материалов высокой прочности применяются инструменты, изготовленные из быстрорежущей стали или металллокерамических сплавов.

Известно, что большое влияние на выбор инструментального материала также оказывают объем инструмента и его размер. Для повышения механических свойств инструмента выбор инструментального материала зависит не только от требуемых режущих свойств, но и от возможности проведения термической обработки.

При выборе инструментального материала следует особенно учитывать режущие способности различных материалов. Эти способности обычно выражаются допустимой скоростью резания при определенных параметрах стойкости и величины износа инструмента. Чаще всего примерное соотношение допустимых скоростей резания для инструментов из углеродистых и легированных сталей составляет 0,3–0,5, для быстрорежущих сталей – 1,0, а для твердых сплавов больше – от 3,0–4,0 [1].

При эксплуатации инструменты нагреваются до различных температур. В сварных соединениях возникают напряжения, поэтому теплофизические свойства свариваемых материалов являются обязательной характеристикой при изготовлении и эксплуатации инструмента. К теплофизическим характеристикам таких инструментов относятся теплопроводность и теплоемкость [2].

Также остаточные напряжения могут возникать и в процессе пайки твердого сплава. Любые напряжения в материале способствуют появлению трещин и последующему разрушению твердого сплава или паяного соединения.

Механизм образования внутренних напряжений в паяном соединении можно представить следующим образом. Соединенные припоем твердый сплав и сталь, охлаждаясь после пайки с высокой температурой, имеют определенную длину и будут упруго взаимодействовать друг с другом. При этом твердый сплав сжимается, а сталь растягивается. Вследствие этого соединенные материалы взаимодействуют друг с другом по плоскости спая, возникают силы, вызывающие изгиб биметаллического тела и его деформацию, как упругую, так и пластическую (рис. 1).



Рис. 1. 1 – твердый сплав; 2 – припой; 3 – сталь (державка)

Избежать появления напряжений и трещин можно за счет изменения конструкции инструмента, а также технологии пайки. Одним из базовых условий при пайке является температура плавления припоя. Способность жидкого припоя смачивать паяемые материалы, взаимодействовать с ними, растекаться по их поверхности является обязательным условием пайки. Технологическая характеристика смачиваемости паяемых материалов зависит от вида припоя, марки, применяемого флюса и соединяемых материалов.

При пайке припой нагревают до температуры, превышающей температуру его плавления, но не достигающей точки плавления металла соединяемых деталей. Припой, становясь жидким, смачивает поверхности и заполняет все зазоры за счет действия капиллярных сил. Происходят растворение основного материала в припое и их взаимная диффузия. Застывая, припой прочно сцепляется с паяемыми деталями.

При пайке должно выполняться следующее температурное условие:

$$T_1 < T_2 < T_3 < T_4,$$

где T_1 – температура, при которой работает паяное соединение;

T_2 – температура плавления припоя;

T_3 – температура нагрева при пайке;

T_4 – температура плавления соединяемых деталей.

Для пайки твердосплавных пластин наиболее подходящими являются серебряные припои, так как они обладают высокой жидкотекучестью и малыми температурными интервалами начала и конца плавления. Использование серебряных припоев позволяет не перегревать при пайке ни корпус инструмента, ни напайваемую твердосплавную пластину. Это обеспечивает качественную работу инструмента.

Следует отметить, что применение серебряных припоев ограничивается дороговизной использования, поэтому предпочтение лучше отдать медно-цинковым припоям таких марок, как Л60, Л62, Л68. Данные припои имеют более высокие температуры плавления и низкие физико-механические свойства. Однако они могут ухудшить качество паяного соединения из-за появления напряжений и микротрещин на твердосплавных пластинках. Необходимо помнить, что в процессе пайки нельзя допускать перегрева припоя. При перегреве медно-цинковых припоев цинк может испаряться в виде белого пара.

Температурный коэффициент линейного расширения (λ) твердосплавных пластин играет важную роль при пайке пластины к державкам. При пайке необходимо подбирать значения температурного коэффициента линейного расширения пластин и стали корпуса так, чтобы они не сильно отличались, иначе при перепадах температур может произойти растрескивание пластин [3].

В нашем исследовании рассматривались твердосплавные пластинки ВК-группы, состоящие из вольфрама и кобальта, марок ВК8 и ВК15. Теплопроводность твердого сплава ВК-группы в два раза выше теплопроводности конструкционной стали державки. Известно также, что с повышением содержания кобальта теплопроводность твердого сплава возрастает. Теплоемкость влияет на коэффициент теплового насыщения материала: чем меньше теплоемкость материала, тем быстрее происходит нагрев паяемых материалов.

Поскольку при пайке применяется преимущественно нагрев индукционными установками, важны данные об электропроводимости паяемых материалов. Электропроводность сталей, применяемых для изготовления державки, выше, чем у твердосплавных пластин. С увеличением предельного содержания углерода в сталях электропроводность незначительно уменьшается, а закаливаемость увеличивается [4].

При изготовлении режущих инструментов необходимо правильно выбрать материал, сделать заготовки таких типов и размеров, чтобы припуски на их обработку были вполне достаточны, так как даже незначительное увеличение припуска по диаметру заготовки существенно увеличивает расход металла. На припуск влияет химический состав исходной стали, поэтому при назначении размеров заготовки необходимо всегда учитывать исходное состояние металла при его поставке. Также необходимо учесть допустимые отклонения по основным параметрам: овальности, величине обезуглероженного слоя, кривизне. Данные параметры определяют себестоимость режущего инструмента. Затраты на материал обычно составляют более 50 %.

С точки зрения лучшего использования металла большие преимущества имеют заготовки в виде отливок, приближающихся к форме готового инструмента. Многие промышленные предприятия при производстве режущих инструментов из литых заготовок сначала подвергают их механической и термической обработке. Такие заготовки приобретают высокие физико-механические свойства, и выход годного инструмента увеличивается.

К основным преимуществам производства режущего инструмента из литых заготовок следует отнести:

- значительное сокращение веса литых заготовок по отношению к весу заготовок из проката или поковок;
- уменьшение количества металла, превращаемого в стружку, и сокращение трудоемкости механической обработки;
- повышение режущей способности литого инструмента по сравнению с инструментом, изготовленным из проката, благодаря возможности дополнительного легирования металла [1].

При разработке технологии пайки твердосплавного инструмента, особенно для дисковых пил с малыми контактными площадками, необходимо уделять внимание специфике конструкции контактных площадок и условиям его работы, подбору материалов для изготовления и выбору рациональных мер по снижению остаточных напряжений в паяных соединениях. Опорные поверхности и стенки паза в корпусе инструмента должны соответствовать форме и размерам пластинки твердого сплава, не иметь завалов, пороков и заусенцев. Чистовая обработка поверхности паза должна быть 4-5 классов. Отклонение от прямолинейности стенок паза допускается не более 0,05 мм.

В твердосплавных пластинах не допускается наличие вкраплений, сколов и трещин. Пластины твердого сплава обязательно отчищают от оксидов шлифовкой, галтовкой или дробеструйной обработкой. При изготовлении твердосплавных пластинок методом порошковой металлургии не всегда возможно выдержать определенную плоскостность пластинки, одинаковые условия спекания пластин и одинаковые условия термической обработки. Поэтому перед пайкой паяемые твердосплавные пластинки подвергали визуальному контролю. Также необходимо выдержать зазор между твердосплавной пластинкой и корпусом инструмента на всей площади пайки.

После изготовления корпуса инструмента следует обязательно обезжирить поверхность контактной площадки. Это необходимо для обеспечения хорошего сцепления припоя между контактной площадкой и поверхностью твердосплавной пластинки. После очистки поверхности при сборке паяного соединения также необходимо подать флюс (буру) вместе с припоем. Флюс способствует обезжириванию поверхности, помогает избежать образования пузырьков и отслаивания припоя, повышая его адгезию, и обеспечивает лучшую защиту поверхности.

Для нагрева каждого вида инструмента необходимо применение специальных индукторов. Обычно выпускаемые индукторы нагревают поверхность твердосплавной пластины. На наш взгляд, это приводит к неравномерному нагреву пластин и корпуса инструмента. Данное

положение индуктора также не позволяет во время нагрева держать и давить твердосплавную пластинку к контактной площадке инструмента.

Важное значение имеет зазор между индуктором и инструментом для равномерного прогрева инструмента. Обычно нагрев инструмента начинают с корпуса. После прогрева корпуса до температуры пайки продвигают корпус с твердосплавной пластиной в более интенсивную зону нагрева. Это возможно при пайке однолезвийных инструментов.

Но при пайке многолезвийных инструментов, тем более дисковых пил, это практически невозможно из-за сложности режущей части. Корпус, твердосплавная пластина и припой одновременно попадают в зону интенсивного нагрева, что приводит к термическим напряжениям в них. Кроме того, невозможно учесть необходимое время нагрева для пайки, так как оно определяется равномерностью нагрева. Время также представляет собой функцию различных факторов, таких как форма и размеры инструментов, теплопроводность материалов различных частей инструментов, параметры индуктора, в том числе частота тока. В связи с этим необходимое время пайки подбирается для каждого инструмента индивидуально.

После пайки все паяные инструменты подвергаются медленному охлаждению на воздухе или в подогретом песке, затем очищаются от флюса и окалины. Удаление остатков флюса значительно снизит в будущем возможное коррозионное разрушение паяного соединения. Удаление окалины также повышает срок службы инструментов. И, наконец, готовый инструмент подвергают визуально-измерительному контролю на наличие возможных трещин, неприпоя и смещения твердосплавных пластин относительно паяных площадок.

Выводы

Таким образом, при пайке сборных деревообрабатывающих инструментов необходимо подбирать материалы державок и твердосплавных платин таким образом, чтобы их температурные коэффициенты линейного расширения не сильно отличались друг от друга.

Жидкий припой должен обеспечивать хорошую смачиваемость и равномерно растекаться по поверхности державки. В качестве припоя лучше применять медно-цинковый припой, так как он отличается достаточно высокой температурой плавления и хорошими физико-механическими свойствами.

Следует помнить, что в процессе пайки нельзя допускать перегрева припоя. Для уменьшения трещинообразования необходимо проводить термическую обработку с соблюдением скорости охлаждения.

Твердые пластины должны быть одинаковой толщины и типоразмеров. Следует правильно подобрать припуски, площадка на державке должна быть хорошо подготовлена. До и после пайки контактные площадки пайки нужно обезжирить.

Важное значение имеет зазор между индуктором и инструментом для равномерного прогрева инструмента. Необходимое время пайки должно подбираться для каждого инструмента индивидуально.

В заключение следует проводить визуальный осмотр готового инструмента.

Список литературы

1. Стародубцева, О. Н. Влияние исходного материала на свойства инструмента / О. Н. Стародубцева, И. С. Патерюхин, С. Я. Алибеков, Р. А. Лежнин // Материалы XVII Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. – С. 216–218.
2. Стародубцева, О. Н. Особенности изготовления сварных инструментов / О. Н. Стародубцева, И. С. Патерюхин, Р. А. Лежнин, О. И. Разинская, С. Я. Алибеков // Материалы XVII Международной

молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. – С. 214–216.

3. Стародубцева, О. Н. Определение зависимости качества пайки сборных инструментов от различных параметров / О. Н. Стародубцева, С. В. Сластихина // Материалы XVIII Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых». Ч. 1: материалы конференции. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2023. – С. 275–277.

4. Стародубцева, О. Н. Особенности пайки твердосплавных пластин / О. Н. Стародубцева, И. С. Патерюхин, Р. А. Лежнин, О. И. Разинская, О. С. Зверева, С. Я. Алибеков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2023. – № 2 (26). – С. 17–23.

THE TECHNOLOGY OF SOLDERING CARBIDE PLATES ON WOODWORKING TOOLS

Olga N. Starodubceva, Svetlana V. Slastihina, Ivan S. Pateryuhin, Sergei Ya. Alibekov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article presents the technology of soldering carbide plates on woodworking tools. The criteria for the selection of material for the components of the cutting tool are highlighted. The causes of internal stresses during soldering are described. Recommendations are presented on the purpose of the type of solder; selection of blanks; preparation of connection pads for soldering. The importance of the split between the inductor and the instrument is determined. The difference between soldering single-blade and multi-blade tools is shown.

Keywords: *hard-alloy plate; woodworking tool; stress; soldering; solder; connection pad; split; inductor.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.864.3:504.45

ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕКРЕАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
E-mail: PozdeevAG@volgatech.net

Выполнена оценка качественных показателей водной среды акваторий и примыкающих к ним береговых территорий реки Волги в границах Республики Марий Эл для оценки увеличения их рекреационных возможностей. Составлен системный комплекс на основе балансовой модели, включающий в себя 24 эшелона, содержащих переменные темпов, уровней и множителей влияния системы. Разработана структурная балансовая модель оценки рекреационной емкости потенциала акваторий и прибрежных территорий в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов, позволившая составить программу расчета темпов и уровней в среде Mathcad. Полученные в результате оценки графики динамики состояния показателей водных рекреаций региона рассчитаны на десятилетний период. В результате дана оценка характеристик деградации и роста основных параметров балансовой системы.

Ключевые слова: балльная оценка; балансовая модель; системная диаграмма; водные рекреации; динамика состояния; Mathcad.

Введение. В результате сравнительного исследования рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий Республики Марий Эл и степени ее использования для целей активного отдыха и курортного лечения собственного населения и населения соседних регионов установлено недостаточное вовлечение в сферу водного туризма и курортно-оздоровительного процесса прибрежных территорий и акваторий малых и крупных рек, озер и водохранилищ [1].

Для решения отмеченной проблемы необходима разработка структурной балансовой модели оценки динамики рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов, которая включает в свой состав совокупность элементов состояния [2], регулирования и коммуникации показателей, формирующих топологические структуры высокой степени сложности [3].

Подобные многоэшелонные комплексные системы, отличающиеся зависимостью от положения в пространстве или развитием во времени, могут обладать инерцией, приводящей к задержке реакции отдельных звеньев системы, определяющих ее параметры. Системные контуры связи между элементами в этом случае распадаются на подсистемы, имеющие характер функций запаздывания. Типичным примером подобной балансовой модели, состоящей из потоков субстанций, объединенных информационными обратными связями, служит балансовая система Дж. Форрестера [4]. В этом случае подсистемы группируются около уровней накопления субстанций, соединяемых между собой информационными связями. Регулирование притока и оттока субстанции от уровня определяется темповыми переменными.

Практическая значимость работы заключается в сокращении разрыва между рекреационным потенциалом и его освоением при использовании полученных результатов оценки состояния водных ресурсов Республики Марий Эл.

Математическое моделирование. На основе сведений о состоянии водной среды и берегов реки Волги в границах Республики Марий Эл разработана структурная балансовая модель оценки рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий в зависимости от их качественного состояния [5].

Структурная балансовая модель оценки динамики рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов состоит из 24 подсистем (рис. 1), определяющих выраженные в баллах:

- качественные оценки состояния русла водотока – DW;
- темп динамики качества русла водотока – DWG;
- ширину зоны литорали – LM;
- темп динамики ширины зоны литорали – LMG;
- качество вод – KW;
- темп динамики качества вод – KWG;
- величину береговой зоны – SS;
- темп динамики величины береговой зоны – SSG;
- фауну водоема – WF;
- темп динамики фауны водоема – WFG;
- флору водоема – PR;
- темп динамики флоры водоема – PRG;
- эстетичность ландшафта – EL;
- темп динамики эстетичности ландшафта – ELG;
- размер акватории – SA;
- темп динамики размера акватории – SAG;
- историко-культурное качество – IP;
- темп динамики историко-культурного качества – IPG;
- степень устроенности – UB;
- темп динамики степени устроенности – UBG;
- емкость рекреаций – ER;
- темп динамики рекреационной емкости – ERG;
- экономический эффект – EE;
- темп динамики изменения экономического эффекта – EEG;

факта
EEG.

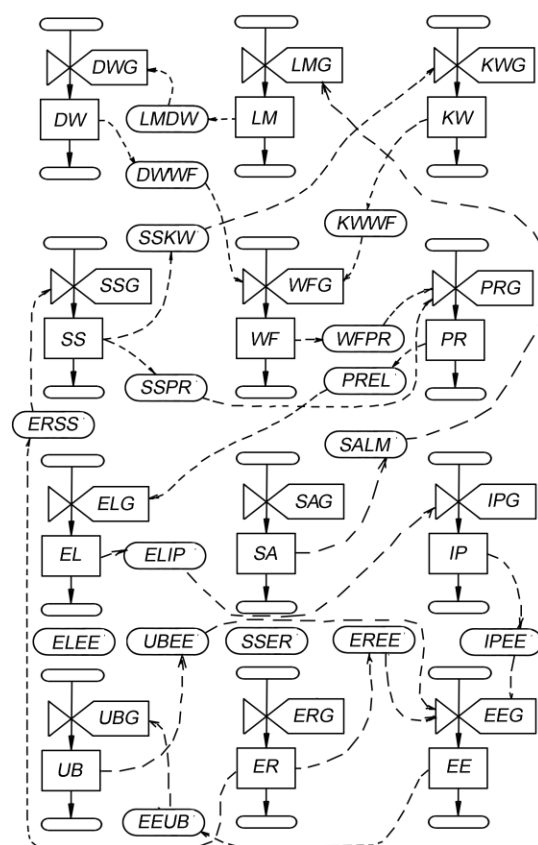
Рис. 1. Структурная балансовая модель оценки рекреационной емкости потенциала акваторий и прибрежных территорий в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов

гязнение
водных
LM, KW,

и 12 темпов (DWG, LMG, KWG, SSG, WFG, PRG, ELG, SAG, IPG, UBG, ERG, EEG). На основе балансовых моделей Форрестера составляются системы уравнений темпов и уровней, соединенных между собой множителями, в соответствии с приведенной на рисунке 1 системной диаграммой. Указанные системы уравнений вводятся в среду Mathcad (рис. 2) [6].

Интерпретация результатов. Структурная балансовая модель оценки рекреационной емкости потенциала акваторий и прибрежных территорий позволяет определить возможность организации водных рекреаций с оценкой их потенциальной емкости, числа и качества видов отдыха в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов.

Для эвристической оценки ресурсного потенциала водных рекреаций взамен конкретных рекреационных показателей, получаемых в результате натурных измерений, в данном случае



Параметры, определяющие за-акватории и прибрежных территорий объектов, включают 12 уровней (DW, SS, WF, PR, EL, SA, IP, UB, ER, EE)

рассматривается выраженная в баллах качественная оценка состояния природной среды, которая может быть получена на основе статистической обработки заключений экспертов в результате применения, например, метода Дельфи.

```

t := 0..10
F(t,n) :=
  DW ← 0.12
  DWG ← -0.01
  LM ← 0.08
  LMG ← -0.005
  KW ← 0.15
  KWG ← -0.003
  SS ← 0.15
  SSG ← -0.001
  WF ← 0.1
  WFG ← -0.004
  PR ← 0.12
  PRG ← -0.001
  EL ← 0.08
  ELG ← -0.0005
  SA ← 0.1
  SAG ← -0.001
  IP ← 0.05
  IPG ← -0.001
  UB ← 0.05
  UBG ← -0.003
  ER ← 0.05
  ERG ← -0.002
  EE ← 8
  EEG ← -0.05
  KWWF ← -0.02
  PREL ← -0.0042
  SALM ← -0.05
  LMDW ← -0.125

  DWWF ← -0.033
  WFPR ← -0.01
  UBEE ← -1
  EREE ← -1
  ELEE ← -0.625
  ERSS ← -0.02
  SSKW ← -0.02
  EEUB ← -0.00038
  SSER ← -0.013
  ELIP ← -0.0125
  IPEE ← -1
  SSPR ← -0.0067
  for DT ∈ 0..t
    DW ← DW + DT · DWG
    DWG ← LMDW · LM
    LM ← LM + DT · LMG
    LMG ← SALM · SA
    KW ← KW + DT · KWG
    KWG ← SSKW · SS
    SS ← SS + DT · SSG
    SSG ← ERSS · ER
    WF ← WF + DT · WFG
    WFG ← DWWF · WF + KWWF · KW
    PR ← PR + DT · PRG
    PRG ← WFPR · WF + SSPR · SS
    EL ← EL + DT · ELG
    ELG ← PREL · PR
    SA ← SA + DT · SAG
    SAG ← 0
    IP ← IP + DT · IPG
    IPG ← ELIP · EL

    UB ← UB + DT · UBG
    UBG ← EEUB · EE
    ER ← ER + DT · ERG
    ERG ← SSER · SS
    EE ← EE + DT · EEG
    EEG ← EREE · ER + IPEE · IP

  F ←
    DW if n = 1
    LM if n = 2
    KW if n = 3
    SS if n = 4
    WF if n = 5
    PR if n = 6
    EL if n = 7
    SA if n = 8
    IP if n = 9
    UB if n = 10
    ER if n = 11
    EE otherwise

```

Рис. 2. Программа для расчета параметров системного комплекса в среде Mathcad

В итоге может быть дана оценка емкости водных рекреаций водотоков и водоемов и на этой основе вычислено количество посетителей пляжей с учетом коэффициента одновременности нагрузки пляжа. На этом основании определяется рекреационная емкость акватории водотоков и водоемов.

По величине территории, занимаемой участками с заданным модулем поверхностного стока, коэффициенту неравномерности вычисляется репродуктивность территории по воде.

Для оценки нагрузки рекреации в зависимости от рекреационной застройки используются три показателя: индекс рекреационной застроенности, плотность и интенсивность рекреации.

В результате имитационного моделирования строятся графики динамики состояния расчетных уровней и темпов системы (рис. 3–14).

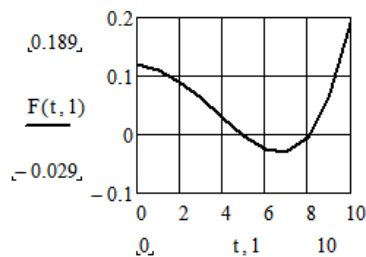


Рис. 3. Зависимость баллов оценки качества русла водотока DW от времени

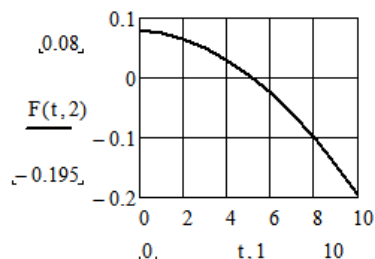


Рис. 4. Зависимость баллов оценки ширины зоны литорали LM от времени

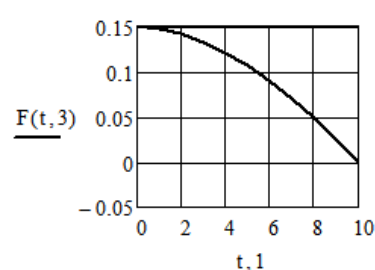


Рис. 5. Зависимость баллов оценки качества вод KW от времени

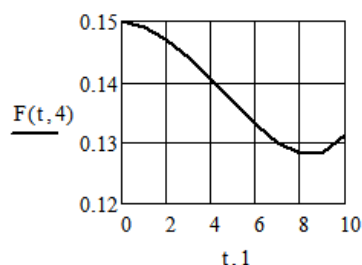


Рис. 6. Зависимость баллов оценки качества береговой зоны SS от времени

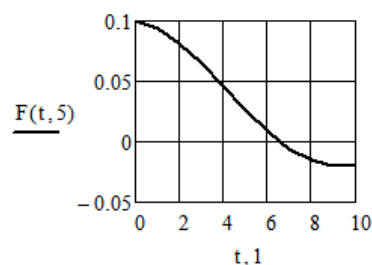


Рис. 7. Зависимость баллов оценки качества фауны водоема WF от времени

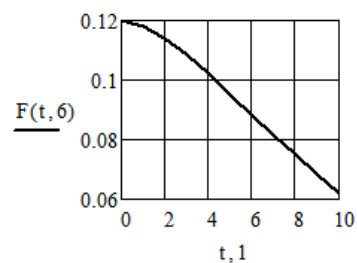


Рис. 8. Зависимость баллов оценки качества флоры водоема PR от времени

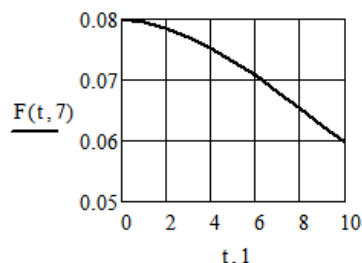


Рис. 9. Зависимость баллов оценки эстетичности ландшафта EL от времени

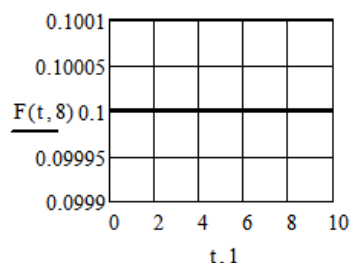


Рис. 10. Зависимость баллов оценки размера акватории SA от времени

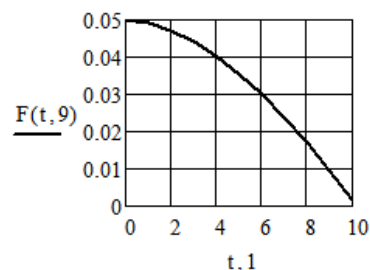


Рис. 11. Зависимость баллов оценки историко-культурного качества JP от времени

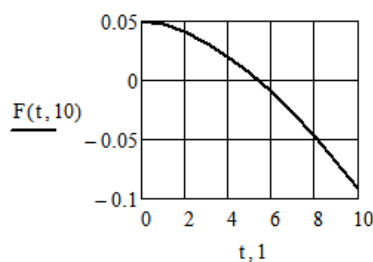


Рис. 12. Зависимость баллов оценки степени устроенности UB от времени

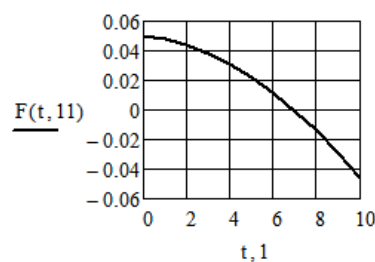


Рис. 13. Зависимость баллов оценки рекреационной емкости ER от времени

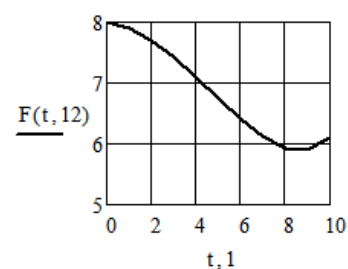


Рис. 14. Зависимость баллов оценки экономического эффекта EE от времени

Выводы. В результате сравнительного исследования рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий Республики Марий Эл и степени ее использования для целей активного отдыха и курортного лечения собственного населения и населения соседних регионов установлено недостаточное вовлечение в сферу водного туризма и курортно-оздоровительного процесса прибрежных территорий и акваторий малых и крупных рек, озер и водохранилищ [3].

На основе сведений о состоянии водной среды и берегов реки Волги в границах Республики Марий Эл разработана структурная балансовая модель оценки рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий в зависимости от их качественного состояния.

Структурная балансовая модель оценки динамики рекреационной емкости акваторий и прибрежных территорий в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов состоит из 24 подсистем, определяющих выраженные в баллах качественные оценки состояния рекреационных объектов. Параметры, определяющие загрязнение акватории и прибрежных территорий водных объектов, включают в себя 12 уровней субстанций и 12 темпов их динамики.

На основе балансовых моделей Форрестера составляются системы уравнений темпов и уровней, соединенных между собой множителями, в соответствии с разработанной системной диаграммой. Указанные системы уравнений вводятся в среду Mathcad.

Итогом работы полученной программы являются графические зависимости балльных оценок динамики факторов, влияющих на качество рекреационных ресурсов акваторий рек Республики Марий Эл и береговой полосы Чебоксарского водохранилища.

- Первый график (рис. 3) определяет зависимость баллов оценки качества русла водотока DW от времени и свидетельствует о том, что в течение десятилетия качество русла водотока сначала плавно снижается, а затем начинает резко улучшаться.

- Второй график (рис. 4) определяет зависимость баллов оценки ширины зоны литорали LM от времени, из которого следует, что ширина зоны литорали плавно снижается и ее нулевое значение достигается за пятилетний период.

- На третьем графике (рис. 5) представлена зависимость балльной оценки качества вод KW от времени, которая говорит о деградации качества за десятилетний период.

- На четвертом графике (рис. 6) показана зависимость баллов оценки величины береговой зоны SS от времени, которая после восьмилетнего снижения в дальнейшем имеет тенденцию к повышению.

- Пятый график (рис. 7) характеризует ухудшение баллов оценки качества фауны водоема WF во времени.

- На шестом графике (рис. 8) отражена тенденция уменьшения числа баллов оценки качества флоры водоема PR от времени.

- Из вида седьмого графика (рис. 9) следует, что зависимость баллов оценки эстетичности ландшафта EL от времени резко снижается.

- Восьмой график (рис. 10) демонстрирует зависимость баллов оценки размера акватории SA от времени, которая не имеет динамики во времени.

- Девятый график (рис. 11) показывает зависимость баллов оценки историко-культурного качества JP от времени, которое постепенно ухудшается.

- Десятый график (рис. 12) демонстрирует зависимость баллов оценки степени устроенности UB от времени, которая имеет падающий характер.

- Из одиннадцатого графика (рис. 13) следует убывающая зависимость оценки баллов рекреационной емкости ER от времени.

- Двенадцатый график (рис. 14) дает зависимость баллов оценки экономического эффекта EE от времени, которая после восьмилетнего периода имеет тенденцию к повышению.

Список литературы

1. Авакян, А. Б. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения / А. Б. Авакян, В. К. Бойченко, И. В. Ланцова, В. П. Салтанкин, В. Б. Яковлева. – М.: Наука, 1990. – 152 с.
2. Поздеев, А. Г. Применение теории нечетких множеств для оценки состояния пунктов водозабора из водохранилищ / А. Г. Поздеев, Ю. А. Кузнецова // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия Технологическая. – 2019. – № 7. – С. 124–130.
3. Поздеев, А. Г. Системный эколого-экономический анализ состояния водных ресурсов: научное издание / А. Г. Поздеев, Е. Ю. Разумов, Ю. А. Поздеева [и др.]. – Йошкар-Ола: МарГУ, – 2002. – 71 с.
4. Форрестер, Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 167 с.
5. Бисвас, А. К. Системный подход к управлению водными ресурсами / А. К. Бисвас, Р. К. Линслей, Н. К. Матейлис [и др.]; под ред. А. Бисваса; пер. с англ.; под ред. Н. Н. Моисеева. – М.: Наука, 1985. – 382 с.
6. Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. – СПб.: Питер, – 2003. – 448 с.

ASSESSMENT OF WATER RECREATION IN THE REPUBLIC OF MARI EL

Anatoly G. Pozdeev, Yulia A. Kuznetsova

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The point estimation of the condition of water areas and coastal territories of the Volga River was carried out. A system complex based on the balance model including 24 echelons containing variables of rates, levels and multipliers of the system influence was compiled. A system complex based on the balance model, including 24 echelons containing variables of rates, levels and multipliers of system influence was compiled. The system diagram of the complex of assessment of water recreation under environmental pollution was developed, which allowed to make a program of calculation of rates and levels in Mathcad environment. Graphs of the dynamics of the state of water recreation indicators of the region obtained as a result of the assessment were calculated for a ten-year period. As a result, the characteristics of degradation and growth of the main parameters of the balance system were assessed.

Keywords: *scoring; balance model; system diagram; water recreation; state dynamics; Mathcad.*

УДК 504.864.3:504.45

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОЛЖСКОГО КАСКАДА И РЕК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: PozdeevAG@volgatech.net

В результате матричных вычислений зависимости рекреационного потенциала от влияющих факторов в среде Mathcad построена математическая модель дифференциальной эффективности рекреационных процессов. Для оценки рекреационного потенциала Волжского каскада использован метод наименьших квадратов. В результате получено уравнение множественной регрессии. Затем вычислены дифференциальные эффективности отдельных ресурсов, включая размеры акваторий, литоралей и протяженность линии берегов. Полнота оценки эффективности потенциальной емкости вод-

ных рекреаций обеспечивается данными о реках, протекающих по территории республики и впадающих в водохранилища Волжского каскада. В результате суммирования расчетных показателей установлен уровень рекреационного потенциала.

Ключевые слова: рекреационный потенциал; дифференциальная эффективность; матричные вычисления; метод наименьших квадратов; Mathcad.

Введение. Развитие разнообразных видов активного отдыха и санитарно-курортного лечения в Республике Марий Эл связано с возможностью использования потенциальной емкости водных рекреаций на основе водных ресурсов Волги с ее притоками и Чебоксарским водохранилищем [1].

Увеличение численности и качественного разнообразия объектов активного отдыха и санитарно-курортного лечения населения региона связано с выявлением потенциальной емкости водных рекреаций в зависимости от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов, а также факторов, определяющих возможность создания в республике развитой отрасли туристической деятельности [2].

В связи с многофакторным характером рекреационного потенциала рек и водохранилищ для более эффективного его использования необходимо создание уравнений, отображающих зависимости потенциала от случайных влияющих факторов [3].

Отсутствие достаточно полных моделей, использующих факторы, учитывающие природно-географические, сезонные и прочие условия водных рекреаций, вызывает необходимость разработки новых подходов к решению поставленных задач. В этой связи применение методов множественной регрессии и построение дифференциальных характеристик эффективности воздействия ресурсных составляющих на рекреационный потенциал является актуальной задачей.

Цель данной работы – определение функций связи производных потенциальной емкости водных рекреаций от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов, а также факторов, определяющих востребованность прибрежных рекреаций.

Практическая значимость работы состоит в получении количественных оценок потенциальной возможности использования емкости водных рекреаций, находящихся в территориальных границах Республики Марий Эл и линии берегов Чебоксарского водохранилища.

Математическое моделирование. Предлагается автоматизированная модель оценки потенциальной емкости водных рекреаций в зависимости от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов. В приведенном листинге программы, реализованной в автоматизированной среде Mathcad [4], оценка потенциальной емкости водных рекреаций произведена в результате формирования матричной функции экспертных оценок от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов.

Согласно методу наименьших квадратов, вектор оценок коэффициентов регрессии

$$s = (\ln X^T \ln X)^{-1} \ln X^T \ln Y.$$

$$\text{ORIGIN} := 1.$$

Матрица с переменными $\ln X_j$, сформированная во внешнем файле, добавление единичного вектора $\ln X_1 := (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ к матрице $\ln X := \text{augment}(\ln X_1, \ln X)$, матрица $\ln Y$ функции отклика из внешнего файла

$$\ln X = \begin{pmatrix} 327 & 191 & 520 \\ 249 & 108 & 584 \\ 4550 & 2553 & 2470 \\ 1580 & 775 & 1150 \\ 5900 & 1924 & 4500 \\ 1200 & 637 & 1360 \\ 1833 & 668 & 1248 \\ 3126 & 701 & 2160 \\ 18765 & 7557 & 13992 \end{pmatrix}; \quad \ln X = \begin{pmatrix} 1 & 327 & 191 & 520 \\ 1 & 249 & 108 & 584 \\ 1 & 4550 & 2553 & 2470 \\ 1 & 1580 & 775 & 1150 \\ 1 & 5900 & 1924 & 4500 \\ 1 & 1200 & 637 & 1360 \\ 1 & 1833 & 668 & 1248 \\ 1 & 3126 & 701 & 2160 \\ 1 & 18765 & 7557 & 13992 \end{pmatrix}; \quad \ln Y = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 50 \\ 25 \\ 150 \\ 30 \\ 40 \\ 100 \\ 403 \end{pmatrix}.$$

Результат транспонирования матрицы $\ln X^T$:

$$\ln X^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 327 & 249 & 4550 & 1580 & 5900 & 1200 & 1833 & 3126 & 18765 \\ 191 & 108 & 2553 & 775 & 1924 & 637 & 668 & 701 & 7557 \\ 520 & 584 & 2470 & 1150 & 4500 & 1360 & 1248 & 2160 & 13992 \end{pmatrix}.$$

Результат скалярного перемножения матриц

$$\ln X^T \cdot \ln X = \begin{pmatrix} 9 & 37530 & 15114 & 27984 \\ 37530 & 424874820 & 170268874 & 313152580 \\ 15114 & 170268874 & 69319998 & 124969240 \\ 27984 & 313152580 & 124969240 & 232133624 \end{pmatrix};$$

Вычисление произведения матриц

$$\ln X^T \cdot \ln Y = \begin{pmatrix} 806 \\ 9138597 \\ 3598305 \\ 6777098 \end{pmatrix}.$$

Вычисление обратной матрицы

$$(\ln X^T \cdot \ln X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0.179865117 & 0.000045187 & -0.000041527 & -0.000060285 \\ 0.000045187 & 0.000000973 & -0.000000803 & -0.000000886 \\ -0.000041527 & -0.000000803 & 0.000001152 & 0.000000468 \\ -0.000060285 & -0.000000886 & 0.000000468 & 0.000000955 \end{pmatrix}.$$

Регрессионные коэффициенты вычисляются в виде вектора

$$\underline{s}_{\text{reg}} := (\ln X^T \cdot \ln X)^{-1} \cdot \ln X^T \cdot \ln Y = \begin{pmatrix} -0.06705 \\ 0.03604 \\ -0.05424 \\ 0.00978 \end{pmatrix}.$$

Конечное выражение для многофакторного регрессионного уравнения имеет вид

$$\ln Y(\ln X_{1j}, \ln X_{2j}, \ln X_{3j}) := s_1 + s_2 \cdot \ln X_{1j} + s_3 \cdot \ln X_{2j} + s_4 \cdot \ln X_{3j},$$

которое после подстановки численных значений коэффициентов приобретает вид

$$\ln Y(\ln X_{1j}, \ln X_{2j}, \ln X_{3j}) \text{ float, } 5 \rightarrow 0.036043 \cdot \ln X_{1j} + -0.054244 \cdot \ln X_{2j} + 0.0097826 \cdot \ln X_{3j} - 0.067053$$

После потенцирования запишем:

$$Y(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) := s_1 \cdot X_{1j}^{s_2} \cdot X_{2j}^{s_3} \cdot X_{3j}^{s_4},$$

или с учетом численных значений коэффициентов:

$$Y(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) \text{ float}, 5 \rightarrow -\frac{0.067053 \cdot X_{1j}^{0.036043} \cdot X_{3j}^{0.0097826}}{X_{2j}^{0.054244}}$$

Функции производных эффективности потенциальной емкости ресурсов X_{1j} , X_{2j} , X_{3j} определяются в виде

$$\begin{aligned} \Theta_{1j} &:= \frac{d}{dX_{1j}} Y(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) \text{ float}, 5 \rightarrow -\frac{0.0024168 \cdot X_{3j}^{0.0097826}}{X_{1j}^{0.96396} \cdot X_{2j}^{0.054244}} & \Theta_{1j} &:= \frac{0.73665 \cdot X_{2j}^{1.0148}}{X_{1j}^{0.65484} \cdot X_{3j}^{0.2347}} \\ \Theta_{2j} &:= \frac{d}{dX_{2j}} Y(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) \text{ float}, 5 \rightarrow -\frac{0.0036372 \cdot X_{1j}^{0.036043} \cdot X_{3j}^{0.009}}{X_{2j}^{1.0542}} & \Theta_{2j} &:= \frac{d}{dX_{1j}} \frac{2.1342 \cdot X_{1j}^{0.34516} \cdot X_{2j}^{1.0148}}{X_{3j}^{0.2347}} \\ \Theta_{3j} &:= \frac{d}{dX_{3j}} Y(X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}) \text{ float}, 5 \rightarrow -\frac{0.00065595 \cdot X_{1j}^{0.036043}}{X_{2j}^{0.054244} \cdot X_{3j}^{0.99022}} & \Theta_{3j} &:= -\frac{0.5009 \cdot X_{1j}^{0.34516} \cdot X_{2j}^{1.0148}}{X_{3j}^{1.2347}} \end{aligned}$$

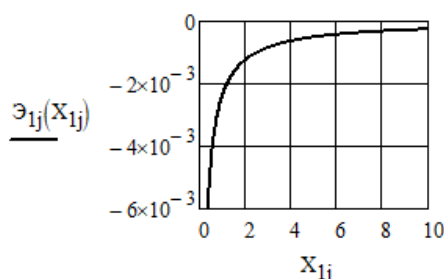


Рис. 1. Функция производной эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от размеров акваторий

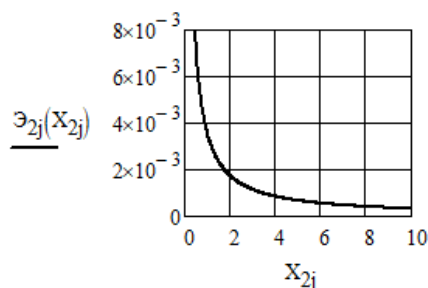


Рис. 2. Функция производной эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от размеров литоралей

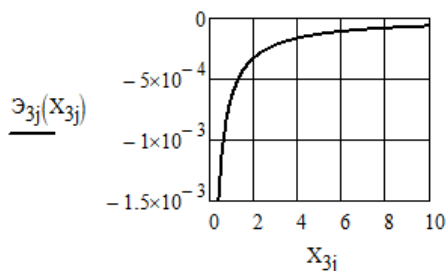


Рис. 3. Функция производной эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от протяженности линии берегов

Полученные дифференциальные эффективности ресурсов использованы для установления функций производной эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов (рис. 1–3).

Численные значения влияющих факторов определяются ниже.

Из внешнего файла в Mathcad введена матрица длин участков рек, протекающих по территории Республики Марий Эл.

Число выделенных рек $n_{\text{РМЭ}} := 40$.

Средняя длина выбранных участков рек равна

$$L_{\text{ср}} := \text{mean}(L^{(1)}) = 57.3.$$

$$\text{Суммарная длина участков рек } L_{\text{сумм}} := \sum_{i=0}^{n_{\text{РМЭ}}} (L^{(1)}) = 2347.6 \text{ км.}$$

Сплайн-интерполяция распределения длин участков рек $n_{\text{таб}} := L^{(0)}$, $L_{\text{таб}} := L^{(1)}$, $L(n) := \text{int erp}(\text{lspline}(n_{\text{таб}}, L_{\text{таб}}), n_{\text{таб}}, L_{\text{таб}}, n)$.

Удельная нагрузка по длине реки $n_{\text{удЛ}} := 200$ чел/км.

Доля использования длины реки $p_L := 0.1$ ед.

Потенциальная емкость водных рекреаций $\Pi_{\text{рЛ}} := p_L \cdot n_{\text{удЛ}} \cdot L_{\text{сумм}} = 4.695 \times 10^4$ чел.

Рекреационная нагрузка по площади территории береговой полосы $n_{\text{удS}} := 200$ чел/га.

Расчетная ширина использования береговой полосы для рекреаций $b_6 := 10$ м.

Суммарная длина рек $L_{\text{сумм_м}} := L_{\text{сумм}} \cdot 10^3$ м.

Рекреационный потенциал $\Pi_{\text{рS}} := p_L \cdot n_{\text{удS}} \cdot b_6 \cdot L_{\text{сумм_м}} \cdot 10^{-4} = 46952$ чел.

Следовательно, второе значение рекреационного потенциала, вычисленное по условной площади, будет совпадать со значением, найденным по длине рекреационных участков рек, только при условии ширины прибрежной зоны рекреации не менее 10 метров.

Ниже представлен расчет на ширину зоны водной рекреации вдоль берега Чебоксарского водохранилища.

Рекреационная нагрузка по площади береговой полосы водохранилища $n_{\text{удS}} := 200$ чел/га.

Расчетная ширина использования береговой полосы для рекреаций $b_6 := 10$ м.

Протяженность линии берегов Чебоксарского водохранилища $L_{\text{блЧвдхр}} := 2431$ км.

Рекреационная емкость акватории и прибрежной территории водохранилища $\Pi_{\text{рS}} := p_L \cdot n_{\text{удS}} \cdot b_6 \cdot L_{\text{блЧвдхр}} \cdot 10^{-1} = 48620$ чел.

Интерпретация результатов. Произведена оценка потенциальной емкости водных рекреаций в результате формирования матричной функции экспертных оценок от влияющих факторов. На этой основе разработана автоматизированная модель зависимости рекреационного потенциала от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов, реализованная в автоматизированной среде Mathcad.

На основе метода наименьших квадратов [5] получены коэффициенты уравнения многофакторной регрессии, которые были автоматически сведены в вектор-столбец. Точность расчетов повышена в результате логарифмирования независимых факторов и матричной функции отклика.

В процессе вычисления коэффициентов регрессии к матрице логарифмов независимых факторов и функции отклика был присоединен логарифм единичного вектор-столбца.

Полученная матрица в соответствии с принципами матричных вычислений транспонирована и перемножена скалярно с матрицей логарифмов независимых факторов. Далее было выполнено перемножение транспонированной матрицы независимых факторов и функции отклика, и от матрицы результата найдена обратная матрица. Вектор коэффициентов уравнения многофакторной регрессии был получен путем скалярного перемножения транспонированных матриц независимых факторов и отклика.

В уравнение многофакторной регрессии автоматически подставлены численные величины компонентов вектора-столбца коэффициентов, что после операций потенцирования и дифференцирования позволило вычислить функции и построить графики зависимостей рекреационного потенциала от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов.

Из графических зависимостей функций производных эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций следует, что при возрастании размеров акваторий и протяженности береговой линии эффективность ресурса возрастает, а при увеличении площади литорали, напротив, убывает.

Размеры акваторий, литоралей и протяженность линии берегов определены на основе статистических данных о состоянии водных ресурсов региона.

На основании статистических характеристик 122 рек, протекающих в границах Республики Марий Эл, выделена 41 река длиной не менее 35 километров, пригодных для использования в целях водных рекреаций. На этой основе в расчет была введена матрица исходных данных в результате конвертирования из внешнего текстового файла.

В матрицу исходных данных введены сведения о протяженности, которые позволили найти среднюю протяженность выбранных рек, равную 57,3 километра, при суммарной протяженности выделенных участков рек в границах республики 2 347,6 километра.

В результате выполненных расчетов получены зависимости эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов для отмеченных рек и водохранилища Чебоксарской ГЭС.

Выводы. При средней протяженности рек длиной не менее 35 километров, пригодных для использования в целях водных рекреаций, была определена их средняя длина, равная 57,3 километра, при суммарной протяженности выделенных участков рек в границах республики 2 347,6 километра.

Для заданной нагрузки, равной 200 человек на один километр протяженности береговой линии акватории и при использовании 10 % длины реки, найдена величина потенциальной емкости ресурса рекреаций рек, которая составила 46 950 человек на период отдыха.

Величина потенциальной емкости ресурса рекреаций береговой линии Чебоксарского водохранилища при ее протяженности 2 431 километр составила 48 620 человек.

Таким образом, получаются сопоставимые значения при использовании речной сети и водохранилища для водных рекреаций без учета специфических различий их использования в рекреационных целях.

В результате выполненных расчетов получены зависимости эффективности потенциальной емкости ресурса рекреаций от размеров акваторий, литоралей и протяженности линии берегов для отмеченных рек и водохранилища Чебоксарской ГЭС, которые могут явиться составной частью определения рекреационной емкости региона в целом для организации активного отдыха и курортно-оздоровительного лечения населения.

Список литературы

1. Эколого-географический атлас Республики Марий Эл [Электронный ресурс]. – URL: <http://geo12.pf/atlas/>
2. Челноков, А. А. Рекреационные ресурсы: учебное пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, А. Ф. Мирончик. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 430 с.
3. Дмитриев, Ю. А. Математическое моделирование экологических систем: учебное пособие / Ю. А. Дмитриев, А. Г. Поздеев. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 1997. – 206 с.
4. Семененко, М. Г. Математическое моделирование в Mathcad. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208 с.
5. Кузнецова, Ю. А. Оценка эффективности гидроузлов на основе производственных функций / Ю. А. Кузнецова, А. Г. Поздеев // Труды ПГТУ. Серия Технологическая. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2022. – С. 67–73.

**MODELING OF THE PECULIARITIES OF RECREATIONAL POTENTIAL
OF THE VOLGA CASCADE AND RIVERS IN THE TERRITORY
OF THE REPUBLIC OF MARI EL**

Anatoly G. Pozdeev, Yulia A. Kuznetsova

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

On the basis of matrix calculations of the dependence of recreational potential on influencing factors in MathCad environment, a mathematical model of differential efficiency of recreational processes is constructed. The method of least squares was used to estimate the recreational potential of the Volga Cascade. As a result, a multiple regression equation was obtained. Then the differential efficiencies of individual resources, including the areas of water areas, shallow waters and shoreline lengths were calculated. For a full assessment of aquatic recreation, information on rivers flowing through the territory of the republic and flowing into the Volga Cascade reservoirs was taken into account. As a result of summarizing the calculated indicators, the level of recreational potential was established.

Keywords: recreational potential; differential efficiency; matrix calculations; least squares method; Math cad.

УДК 630*24:630*236:630*43

**ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ
И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ
В МИХАЙЛОВСКОМ РАЙОННОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ**

Иванов Александр Владимирович¹, Хлебов Антон Юрьевич²

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

² Михайловское районное лесничество, с. Михайловское, Нижегородская обл.

E-mail: IvanovAV@volgatech.net

Приведена горимость лесов Нижегородской области и дан анализ естественного возобновления и структуры формирующихся молодняков на пробных площадях на гарях сосновых насаждений различных типов леса после крупных пожаров 1972 и 2006 годов в Михайловском районном лесничестве.

Ключевые слова: гарь; тип леса; молодняк; вид пожара.

Введение

Леса России, по сведениям, взятым из литературных источников, с древнейших времен страдают от пожаров.

Около 46 % территории [1] Нижегородской области покрыто лесами, они находятся в непосредственной близости от крупных населенных пунктов и мест традиционного отдыха населения. Порой люди не проявляют должной осторожности при пользовании огнем в местах работы и отдыха, поэтому главной причиной возникновения природных пожаров был и остается человеческий фактор (90 – 97 % случаев). Природные пожары в области наблюдаются ежегодно, степень природной горимости Нижегородских лесов оценивается как достаточно высокая.

За период с 1936 по 1990 год [2] имеются подробные сведения о лесных пожарах в Нижегородской области (табл. 1). За эти 55 лет огнем пройдено 690 тыс. га леса, что составило 18 % от общей площади лесов региона.

Таблица 1

**Лесные пожары в Нижегородской области за период с 1936 по 2023 гг.
(по В. Н. Куприянову и др., 1995)**

Годы	Число случаев	Площадь пожаров, тыс. га	В том числе в годы высокой горимости		
			годы	число случаев	площадь, тыс. га
1936 – 1940	5 123	213,8	1936	1 297	36,0
-	-	-	1938	1 460	146,0
1941 – 1945	619	6,1	-	-	-
1946 – 1950	2 453	7,8	1950	559	3,2
1951 – 1956	2 796	9,0	-	-	-
1957 – 1960	4 303	15,8	1960	1 995	11,3
1961 – 1965	6 153	12,8	1961	1 569	7,5
1966 – 1970	5 894	6,3	1964	2 495	3,4
-	-	-	1966	2 011	3,7
1971 – 1975	4 287	405,0	1972	2 526	404,4
1976 – 1980	999	0,8	1979	389	0,5
1981 – 1985	2 525	10,5	1984	988	3,6
1986 – 1990	1 574	1,6	1986	615	1,1
Всего	36 816	689,5	-	15 904	620,7
1997 – 2012	14 326	-	-	58	-
2013	77	-	-	-	-
2014	184	152,471	-	-	-
2015	179	0,148	-	-	-
2016	73	0,123	-	-	-
2017	37	0,0095	-	-	-
2018	75	0,034	-	-	-
2019	63	0,06978	-	-	-
2020	46	0,02161	-	-	-
2021	124	6,5	-	-	-
2022	65	12,436	-	-	-
2023	31	0,00726	-	-	-

Наиболее сильные пожары за исследуемый период случились в 1936, 1938 и 1972 годах, когда огнем было охвачено соответственно 36, 146 и 460 тыс. га лесных площадей.

Ситуация с лесными пожарами такова:

■ **1997 – 2012 гг.** По данным Главного управления МЧС России по Нижегородской области, за этот период на территории региона произошло 14 326 природных пожаров, в том числе 58 крупных, площадью свыше 25 га, из них: 91 % – лесные пожары, 6,7 % – торфяные, 2,3 % – степные;

■ **2010 г.** Выгорело более 170 тыс. га леса. Как отмечает Яшнова [1], в 20 районах области в 2010 году в связи с неоднократными случаями перехода открытого огня на жилые строения и другие постройки был уничтожен 791 дом, 837 семей (2040 чел.) лишились жилья, 22 человека погибли, четверо получили ранения;

■ **2013 г.** Случилось 77 лесных пожаров, средняя площадь одного пожара – 0,93 га. Вместе с тем по данным департамента, в течение всего пожароопасного сезона 2013 года не было ни одного крупного пожара;

■ **2014 г.** Зарегистрировано 184 лесных пожара, площадь, пройденная огнем, составила 152,5 га;

■ **2015 г.** Также произошло значительное количество пожаров – 179, с охваченной площадью возгорания 148 га;

- **2016 – 2019 гг.** Возгорания наблюдались на небольших площадях;
- **2020 г.** Всего за сезон, по данным Минлесхоза Нижегородской области, произошло 46 пожаров, огонь затронул 21,61 га;
- **2021 г.** 124 лесных пожара, общая площадь которых составила более 6 500 га, только в Воротынском районе она превысила 6 100 га. Известно об одном погибшем леснике. Пожар не удавалось локализовать более 10 суток. В ликвидации возгорания участвовали более 700 человек;
- **2022 г.** Зафиксировано 65 лесных пожаров на площади 12 435,8 га;
- **2023 г.** Согласно данным, предоставленным ведомством, зарегистрирован 31 лесной пожар общей площадью в 7,26 га. Из них 30(!) возникло по вине местного населения, еще один пожар начался из-за удара молнии. По сравнению с 2022 годом, количество природных пожаров в Нижегородской области снизилось в 2023 году более чем в два раза, а площадь уменьшилась на 99 %.

Цель данной работы – проанализировать горимость лесов Нижегородской области; выяснить процесс лесовосстановления на гарях 1972 и 2006 годов, формирования молодняков из главной породы в послепожарных естественных сосново-лиственных насаждениях, проектирования мероприятий по лесовосстановлению в Михайловском районном лесничестве.

Решаемые задачи – исследование горимости лесов Нижегородской области, выявление количественной и качественной характеристик естественного возобновления после пожара 2006 года, а также лесоводственная оценка насаждений, возникших естественным и искусственным путями после пожаров 1972 года в Михайловском районном лесничестве.

Объекты и методика исследований

Леса Михайловского районного лесничества представлены в основном хвойными – сосновыми древостоями (85 %). Из табл. 2 видно, что природная пожарная опасность лесов в лесничестве достаточно высокая.

Таблица 2

Распределение площади земель лесного фонда по классам пожарной опасности

Лесничества	Классы пожарной опасности					Итого	Средний класс
	1	2	3	4	5		
Красноборковское	1517	7385	12349	2038	115	23404	2,8
Каменское	1652	10005	7756	1164	124	20701	2,3
Разнежское	2231	11367	4321	5684	2283	25886	2,5
Михайловское	2368	15578	3150	1321	1530	23947	2,1
Воротынское	102	265	568	6853	2547	10335	4,1
Итого	7870	44600	28144	17538	6121	104273	-

В общем по лесничеству преобладают 2 и 3 классы пожарной опасности. Характерной особенностью является неравномерное распределение по территории участков с высоким классом пожарной опасности, что повышает в целом горимость лесов.

Пожары 1972 года в Нижегородской области повредили значительные площади лесов, в том числе в Михайловском районном лесничестве – около 34 тыс. га.

В результате большого пожара, случившегося здесь в 2006 году, было повреждено 885 га покрытых лесом площадей, из них пройдено верховым пожаром 100 га. При пожаре погибло 294 га лесных культур, созданных на площадях гарей 1972 года. В результате за 32-летний период сосновые древостои не дали нужной продукции для народного хозяйства.

В Михайловском районном лесничестве вследствие пожара 2006 года на незначительной площади произошло естественное возобновление с различным участием сосны. Таким образом, познание закономерностей лесовозобновления на гарях представляет научный и практический интерес.

На гари 1972 года были заложены пробные площади размером 0,5 га, где на отмеченных в натуре учетных площадках 2х2 м проводился сплошной учет древесных пород по односантиметровым ступеням толщины. При учете также отмечались возраст хвойных пород и принадлежность всех пород к определенному классу роста по классификации Крафта.

Для трех центральных ступеней толщины по каждой породе измерялись высоты не менее чем трех деревьев по каждой ступени. На гари 2006 года на отмеченных в натуре площадках размером 2х2 м в количестве 25 шт. проводился учет естественного возобновления.

Формирование естественных насаждений в сосняке лишайниково-мшистом после пожара 1972 года

Пробная площадь (ПП) № 1 (рис. 1) расположена в квартале 135 выдела 7 Михайловского участкового лесничества. Размер пробной площади – 0,5 га. Рельеф волнистый. Почва слабо-подзолистая, песчаная.



Рис. 1. Насаждение (ПП № 1) в сосняке лишайниково-мшистом после пожара 1972 года

В 1972 году естественное насаждение повреждено устойчивым низовым пожаром, в 1974 году его вырубili в связи с усыханием. По результатам натурного обследования данное насаждение имеет следующие таксационные показатели: состав древостоя – 10С+Б. Средний возраст – 35 лет, средний диаметр – 11 см, средняя высота – 8 м, запас – 90 куб. м/га. Полнота – 0,7, неравномерная. Класс бонитета – 2.

В подлеске редко встречается ракитник, единично – рябина. Живой напочвенный покров представлен следующими растениями: лишайник (на буграх – 70 %, в низинах – 20 %), ландыш майский – 10 % проективного покрытия, вейник наземный – 5 %, кукушкин лен обыкновенный – 5 %.

В древостое хорошо выражено распределение стволов по классам роста Крафта. Из данных табл. 3 видно, что у сосны преобладают 1 и 2 классы Крафта. У березы большое количество стволов растут по 4 и 5 классам. В будущем эти деревья пойдут на отмирание, то есть они

подлежат рубке. В данном типе леса формируется сосняк с вполне достаточным количеством сосны. Участие сосны в его составе – 76 %. Сомкнутость молодняка – 0,7.

Таблица 3

Распределение числа стволов по классам Крафта

Показатели	Классы Крафта					Всего
	1	2	3	4	5	
Сосна						
тыс. шт./га	2,2	2,5	1,6	0,5	0,4	7,2
%	30,6	34,7	22,2	6,9	5,6	100
Береза						
тыс. шт./га	0,1	-	0,1	0,4	0,7	1,3
%	7,8		7,8	30,2	53,9	100
Осина						
тыс. шт./га	-	-	-	-	0,7	0,7
%	-	-	-	-	100	100

**Формирование молодняков в сосняке брусничном
после пожара 1972 года**

Пробная площадь № 2 заложена в квартале 135 Михайловского участкового лесничества. Размер пробной площади – 0,5 га. Рельеф волнистый. Почва слабоподзолистая, песчаная, на древнеаллювиальных песках.

Насаждение в 1972 году (рис. 2, табл. 4) было повреждено устойчивым низовым пожаром. Древорост усок на 65 %. Высота нагаров на стволах была более 1,5 м.



Рис. 2. Естественное насаждение (ПП № 2), сформировавшееся в сосняке брусничном, после пожара 1972 года

Лесная подстилка прогорела местами на всю толщину, до минерального слоя почвы. Состав возникшего естественного древостоя после пожара 1972 года – 7СЗБ. Возраст – 34 года. Средний диаметр – 12 см. Средняя высота – 9 м. Класс бонитета – 1. Запас древесины –

70 куб. м/га. Подлесок представлен можжевельником (6 шт.) на пробной площади, рябиной – редко, крушиной ломкой – 6 кустов на пробной площади. Живой напочвенный покров представлен следующими видами: мох Шребера – 20 % (в понижениях), ландыш майский – 20 %, вейник тростниковый – 7 %, брусника – 30 %, орляк обыкновенный – 5 % (на микроповышениях), кукушкин лен обыкновенный – 5 % (в понижениях).

Распределение числа стволов по классам Крафта (табл. 4) показывает, что у сосны преобладает первый класс Крафта, и 10 % от общего количества деревьев имеют 4 и 5 классы Крафта. Береза имеет 50 % от общего количества деревьев – 5 класс Крафта.

Таблица 4

Распределение числа стволов по классам Крафта

Показатели	Классы Крафта					Всего
	1	2	3	4	5	
Сосна						
тыс. шт./га	0,88	0,16	0,24	0,16	0,16	1,6
%	55,0	10	15	10,0	10,0	100
Береза						
тыс. шт./га	0,3	0,2	0,3	0,4	1,0	2,2
Осина						
тыс. шт./га	-	-	-	-	1,1	1,1
%	-	-	-	-	100	100
%	13,6	9,1	13,6	18,2	45,5	100

Участие сосны в составе формирующихся молодняков составляет по числу деревьев 64 %, а по запасу – 85 %. Сомкнутость молодняка – 0,7. Встречаемость сосны довольно высокая – 64 %. Подрост сосны одновозрастный и появился в первые два года после пожара. Структура сосновых молодняков разновысотная.

Формирование молодняков в сосняке лишайниково-мшистом после пожара 1972 года

Пробная площадь № 3 заложена в квартале 158 выдела 1 Михайловского участкового лесничества. Размер пробной площади – 0,5 га. Рельеф волнистый. Почва сильноподзолистая, песчаная, влажная.

В 1972 году насаждение пройдено верховым пожаром. Древостой полностью усох. Вырубка 1974 года. В 1975 году на месте вырубки создали лесные культуры сосны. В 2006 году это насаждение было повреждено низовым пожаром средней силы. Средняя высота нагара составила 1,2 м.

Древостой состава – 10С+Б. Полнота – 0,8. Средний диаметр – 12 см. Средняя высота – 9 м. Возраст – 33 года. Класс бонитета – 2. Запас – 90 куб. м/га.

Живой напочвенный покров: лишайник (на буграх – 60 %, в низинах – 25 %), ландыш майский – 15 % проективного покрытия, вейник наземный – 7 %, кукушкин лен можжевидный – 5 %.

В насаждении хорошо выражено распределение стволов (табл. 5, рис. 3) по классам роста Крафта.

Распределение числа стволов по классам Крафта

Показатели	Классы Крафта					Всего
	1	2	3	4	5	
Сосна						
тыс. шт./га	4,02	1,407	1,005	0,134	0,134	6,7
%	60	21	15	2	2	100
Береза						
тыс. шт./га	0,1	-	0,4	0,4	0,7	1,6
%	6,3	-	25,0	25,0	43,7	100

В насаждении на пробной площади преобладают экземпляры сосны 1–3 классов роста Крафта. У сосны преобладает первый класс Крафта, 10 % от общего количества деревьев имеют 4 и 5 классы Крафта. Для лиственных пород, наоборот, характерно преобладание деревьев низших классов роста Крафта (4-5), многие из них в последствии пойдут в отпад.



Рис. 3. Насаждение (ПП № 3)
в сосняке лишайниково-мшистом
после пожара 1972 года



Рис. 4. Насаждение (ПП № 4),
сформировавшееся в сосняке брусничном,
после пожара 1972 года

Формирование молодняков в сосняке брусничном после пожара 1972 года

Пробная площадь № 4 заложена в квартале 149 выдела 20 Михайловского участкового лесничества. Размер пробной площади – 0,5 га. Рельеф бугристый, высота всхолмлений – около трех метров. Микрорельеф выражен в виде неглубоких западинок и выбоин. Почва свежая, слабоподзолистая, песчаная, материнская порода – древнеаллювиальные пески.

Насаждение повреждено в 2006 году низовым пожаром средней силы (рис. 4). Дрестовой удох на 20 %. Гарь стоячая. Высота нагара на стволах сосны – 1–2 м.

Лесная подстилка прогорела почти на всю толщину, отдельными местами сохранился ее внутренний слой.

Дрестовой состава – 10С. Полнота – 0,7. Господствующий возраст – 33 года. Средняя высота – 8 м, средний диаметр – 11 см. Запас дрестовины – 75 куб. м/га.

Среди представителей довольно скудного подлеска встречается ракитник русский, высотой 10–50 см, редко – рябина.

Видовой состав небогатый, всего на пробной площади отмечен 21 вид, куда входят: вейник тростниковидный, вейник наземный, иван-чай узколистный, орляк обыкновенный, кипрей голостебельный, колокольчик круглолистный, ястребинка зонтичная, золотарник обыкновенный, ландыш майский, брусника, черника и др.

Основными представителями живого напочвенного покрова являются: брусника – до 60 %, ландыш майский – 40 %, черника – 2 %, орляк обыкновенный – 15 % (на склонах – до 30 %).

В насаждении (табл. 6) преобладает 2 класс Крафта, представленный полустарыми деревьями. Отставших в росте 4, 5 классов насчитывается незначительное количество.

Таблица 6

Распределение числа стволов по классам Крафта

Показатели	Классы Крафта					Всего
	1	2	3	4	5	
Сосна						
тыс. шт./га	1,18	2,1	0,55	0,27	0,1	4,2
%	28	50	13	6	3	100

Учет естественного возобновления в сосняке бруснично-черничном после верхового пожара 2006 года

Пробная площадь № 5 заложена в квартале 158 выдела 1 Михайловского участкового лесничества. Рельеф волнистый. Почва сильноподзолистая, песчаная, влажная. Закладывалась пробная площадь (рис. 5) размером 0,5 га для учета погибшего дрестовоя после пожара 2006 года. В результате учета выявлено, что лесные культуры сосны, созданные в 1975 году, полностью погибли. Затем были заложены (рис. 6) учетные площадки размером 2х2 м в количестве 25 шт., на которых проводился сплошной учет естественного возобновления.

Живой напочвенный покров представлен следующими видами: мох Шребера – 25 % (в понижениях), ландыш майский – 7 %, вейник тростниковый – 20 %, брусника – 30 %, орляк обыкновенный – 3 % (на микроповышениях), в понижениях: кукушкин лен обыкновенный – 5 %, молиния голубая – 5 %, черника – 10 %.

Кроме сосны (табл. 6) на учетных площадках возобновились такие породы, как береза – 5 шт., осина – 6 шт., а также кустарничек ракитник – 7 кустиков.

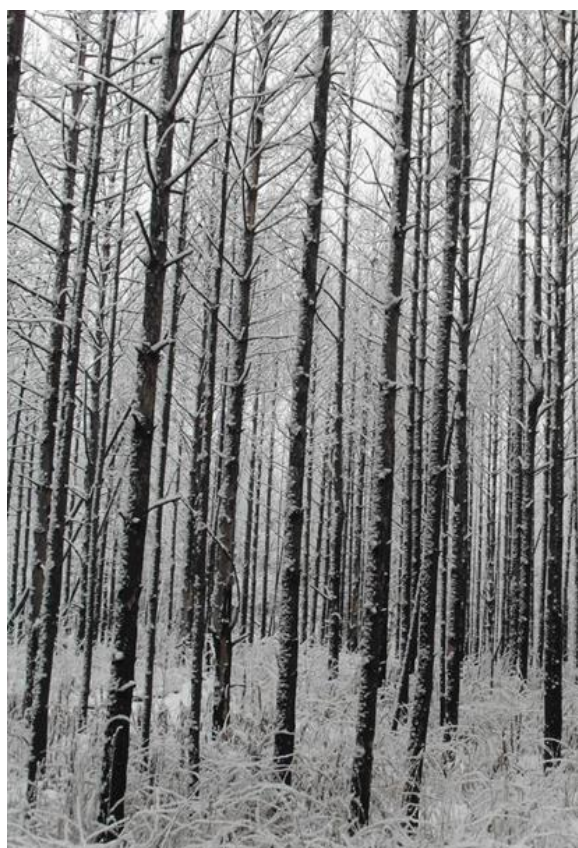


Рис. 5. Лесные культуры сосны, созданные после пожара 1972 года и сгоревшие от верхового устойчивого пожара в 2006 году



Рис. 6. Естественное возобновление после устойчивого верхового пожара 2006 года

При учете мы определили, что на 1 га (табл. 7) приходится около 600 шт. сосны, 500 шт. березы и 600 шт. осины. Такое возобновление является недостаточным для формирования хвойного насаждения, поэтому на данном участке лучше создать частичные лесные культуры сосны, с предварительной разработкой горельника и частичной обработкой почвы (бороздами).

Таблица 7

Количество естественного возобновления в сосняке бруснично-черничном после верхового пожара 2006 года

Показатели	Сосна, шт.				Итого	Количество лиственных пород		Всего	Оценка ЕВС
	одно-летние	двух-летние	трех-летние	четы-рех-лет-ние		береза	осина		
Итого на пробной площади	-	2	3	1	6	5	6	17	Создание частичных лесных культур
Итого шт. на 1 га	-	200	300	100	600	500	6	17	

Учет естественного возобновления в сосняке лишайниково-мшистом после низового пожара средней силы 2006 года

Пробная площадь № 6 заложена в квартале 149 выдела 21 Михайловского участкового лесничества. Рельеф волнистый. Почва сильноподзолистая, песчаная, влажная.

Закладывалась пробная площадь размером 0,5 га для учета погибшего древостоя после пожара 2006 года. В результате учета выявлено, что лесные культуры сосны, созданные в 1975 году, частично усохли (на 20 %). Затем были заложены учетные площадки размером 2х2 м в количестве 25 шт., на которых проводился сплошной учет естественного возобновления.

Живой напочвенный покров представляют лишайник (на буграх – 55 %, в низинах – 18 %), ландыш майский – 13 % проективного покрытия, вейник наземный – 45 %, кукушкин лен можжеловидный – 4 %, брусника – 2 %.

Кроме сосны на учетных площадках возобновились (рис. 7, табл. 8) такие породы, как береза – 3 шт., осина – 1 шт., а также кустарничек ракитник – 5 кустиков.



Рис. 7. Естественное возобновление после устойчивого верхового пожара 2006 года

Таблица 8

Количество естественного возобновления в сосняке лишайниково-мшистом
после низового пожара средней силы 2006 года

Показатели	Сосна, шт.				Итого	Количество лиственных пород		Всего	Оценка ЕВС
	одно- летн ие	двух- летни е	трех- летние	четы- рех-лет- ние		береза	осина		
Итого на пробную площадку	1	8	34	4	47	3	1	51	Удовлетворительное возобновление
Итого шт. на 1 га	100	800	3 400	400	4 700	300	100	5 100	

При учете мы определили, что на 1 га приходится около 4,7 тыс. шт. сосны, 300 шт. березы, 100 шт. осины. Это возобновление является удовлетворительным и не требует проведения лесокультурных работ.

Учет естественного возобновления в сосняке брусничном после низового устойчивого пожара 2006 года

Пробная площадь № 7 (табл. 9) заложена в квартале 168 выдела 11 Михайловского участкового лесничества. Рельеф волнистый. Почва сильноподзолистая, песчаная, влажная.

Таблица 9

Естественное возобновление в сосняке брусничном
после низового устойчивого пожара 2006 года

Показатели	Сосна, шт.				Итого	Количество лиственных пород		Всего	Оценка ЕВС
	одно- летние	двух- летние	трех- летние	четырёх- летние		береза	осина		
Итого на пробной площади	-	5	8	1	14	3	-	17	Удовлетвори- тельное возобновление
Итого шт. на 1 га	-	500	800	100	1400	300	-	1700	

Закладывалась пробная площадь размером 0,5 га для учета погибшего древостоя после пожара 2006 года. В результате учета выявлено, что лесные культуры сосны, созданные в 1974 году, частично усохли (на 25 %). Затем были заложены учетные площадки размером 2х2 м в количестве 25 шт., на которых проводился сплошной учет естественного возобновления.

Живой напочвенный покров представлен следующими видами: мох Шребера – 30 % (в понижениях), ландыш майский – 3 %, вейник тростниковый – 15 %, брусника – 35 %; в понижениях: кукушкин лен обыкновенный – 5 %, молиния голубая – 2 %.

Кроме сосны возобновилась береза – 3 шт., а также кустарничек ракитник – 13 кустиков. При учете мы определили, что на 1 га приходится около 3,2 тыс. шт. сосны, 300 шт. березы. Такое возобновление является недостаточным для формирования хвойного насаждения. На данном участке лучше провести содействие естественному возобновлению.

Выводы

В результате исследований, проведенных в Михайловском районном лесничестве Нижегородской области, выявлено, что формирование молодняков на гарях 1972 года после низовых устойчивых пожаров зависит от исходного типа леса. В сосняке брусничном после устойчивого низового пожара с погибшим материнским древостоем отмечается плохой рост сосны в молодняках из-за затенения ее лиственными породами. Поэтому для повышения темпов роста сосны требовалось проведение рубок ухода.

Практически во всех типах леса при всех рассмотренных видах пожаров формируются молодняки с достаточным количеством сосны в их составе, кроме насаждений, где прошел верховой пожар. Встречаемость сосны довольно высокая. Средняя высота сосны в равной степени превышает лиственные породы. Сомкнутость молодняков после низовых пожаров разной интенсивности составляет от 0,7–0,9. В сосняке брусничном, сосняке лишайниково-мшистом есть необходимость проведения лесоводственного ухода для улучшения темпа роста, состава, густоты и формы насаждения.

Исходя из анализа процессов лесовозобновления на гарях прошлых лет и с учетом типов условий местопроизрастания, рекомендуется следующая схема лесовосстановительных работ. Лесные культуры сосны предлагается производить в суходольных типах леса (А1, А2, В2). В

сосняках лишайниковых, брусничных учитывать рекомендации С. А. Денисова и др. [3]. Лесные культуры необходимо проектировать в сосняках майниково-брусничных, травяных и ельниках брусничных. Под естественное заращивание на горельниках указанных типов леса следует отводить небольшие по площади участки с наличием на них семенных деревьев или участки, окруженные сохранившимися древостоями сосны. В качестве мер содействия на данных участках – провести рыхление верхнего прогоревшего слоя почвы.

На месте разработанных горельников хвойных пород в условиях влажных и сырых типов леса (А3-А4, В3-В4, С4), при наличии условий для создания культур, рекомендуются культуры сосны. В остальных случаях участки с указанными типами леса оставляют под естественное возобновление хвойными и лиственными породами, так как такие горельники представляют собой труднопроходимые заболоченные участки с беспорядочно нагроможденными вываленными деревьями. По этим же причинам горельники в сосняках сфагновых и осоко-сфагновых, в ольшаниках (А5, В5, С5, Д5) также рекомендуется оставлять под естественное заращивание.

Поскольку Михайловское районное лесничество является горимым лесничеством (табл. 1) – 85 % площади представлено хвойными породами и соответственно высоким классом пожарной опасности, то для разделения крупных сосновых массивов на блоки величиной до 1 600 га следует проектировать противопожарный барьер.

Ширина проектируемого противопожарного барьера составляет 140 м. Посередине проходит проезжая просека. Просеку расширяют до 20 м. В обе стороны от просеки через 10, 20 и 30 м прокладывают визиры, а по ним – коридоры шириной 5 м. Для создания препятствий низовым пожарам по коридорам устанавливают минерализованные полосы плугом ПКЛ-70 в агрегате с ТДТ-55. В оставшихся полосах леса проводят по необходимости ряд мероприятий, среди которых: обрезка сучьев на высоту 2 м, вырубка пожароопасного подроста и хвойного подлеска, уборка захламленности. Желательно создать противопожарный барьер по границам с Юринским районным лесничеством Республики Марий Эл, чтобы лучше тушить пришедший встречный огонь.

Список литературы

1. Яшнова, Т. В. Уязвимость нижегородских лесов от природных пожаров / Т. В. Яшнова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 21 (80). – С. 57–61.
2. Куприянов, В. Н. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области / В. Н. Куприянов, С. Н. Веретенников, В. В. Шишов. – Н. Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во, 1995. – 350 с.
3. Денисов, С. А. Управление лесовосстановлением на гарях / С. А. Денисов, Т. А. Конюхова, Т. С. Рачкова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 5–17.

THE GROWTH OF FORESTS IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION AND REFORESTATION AFTER FIRES IN THE MIKHALOVSKY DISTRICT FORESTRY

Alexander V. Ivanov, Anton Y. Khlebov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola
The Mikhailovsky District Forestry, Nizhny Novgorod Oblast, Mikhailovskoye village

The gorimost of the forests of the Nizhny Novgorod region is given and the analysis of the natural regeneration and structure of the emerging young trees in the test areas on the burning of pine plantations of various types of forest after the major fires of 1972 and 2006 in the Mikhailovsky district forestry is given.

Keywords: *burning; type of forest; young growth; type of fire.*

Сведения об авторах

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук,
заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения

АХМЕТЗЯНОВ Эмиль Ильдарович – студент ПГТУ

ВАСЯЕВА Наталья Семёновна – кандидат технических наук,
доцент кафедры информационно-вычислительных систем

ВЕДЕРНИКОВА Юлия Александровна – старший преподаватель кафедры
высшей математики

ВИКТОРОВ Артём Николаевич – студент ПГТУ

ДЕГАЕВ Максим Николаевич – аспирант ПГТУ

ИВАНОВ Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

ИВАНОВ Артём Владимирович – магистрант, ассистент кафедры
информационно-вычислительных систем

КРЕЧЕТОВ Александр Александрович – кандидат технических наук,
декан факультета информатики и вычислительной техники

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук,
доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

КУКЛИН Владимир Андреевич – учебный мастер кафедры строительных конструкций
и водоснабжения

МИХАДАРОВА Ольга Васильевна – старший преподаватель кафедры высшей математики

МОРОХИН Дмитрий Витальевич – кандидат технических наук,
заведующий кафедрой информационно-вычислительных систем

ПАТЕРЮХИН Иван Сергеевич – учебный мастер Инжинирингового центра
автоматизированного машиностроения

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук,
профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович – кандидат технических наук,
заведующий кафедрой строительных конструкций и водоснабжения

СЛАСТИХИНА Светлана Викторовна – старший преподаватель кафедры машиностроения и материаловедения

СТАРОДУБЦЕВА Ольга Николаевна – аспирант ПГТУ

ТОМУРОВ Павел Дмитриевич – аспирант ПГТУ

ХЛЕБОВ Антон Юрьевич – инженер лесного хозяйства,
руководитель Михайловского районного лесничества
Нижегородской области

ЧЕШОКОВ Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук,
доцент кафедры информатики

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Ведерникова Ю. А.

Угло-частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов	5
--	---

Михадарова О. В.

Влияние конструктивной и деструктивной интерференций на частотные характеристики ионосферных отражательных радиоканалов	10
---	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Викторов А. Н., Ахметзянов Э. И., Кречетов А. А.

CC2531 и ZIGBEE: совместимость и возможности	18
--	----

Викторов А. Н., Ахметзянов Э. И., Кречетов А. А.

Выбор программного обеспечения для работы с модулем CC2531	20
--	----

Дегаев М. Н., Васяева Н. С.

Особенности обработки пакетов в эталонном маршрутизаторе контента для NDN-сетей	23
---	----

Иванов А. В., Морохин Д. В.

Библиотека построения маршрута БПЛА	30
---	----

Томуров П. Д., Васяева Н. С.

Анализ формата TLV для структурированного представления данных	35
--	----

Томуров П. Д., Васяева Н. С.

Теоретико-типовая модель кодирования NDN-TLV	39
--	----

Чесноков С. Е.

Эволюционные стратегии в машинном обучении	43
--	----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Поздеев В. М., Куклин В. А.

К совершенствованию методики экспериментального исследования прочности бетона на сдвиг в плоском напряженном состоянии «сжатие-сдвиг»	52
---	----

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Стародубцева О. Н., Сластихина С. В., Патерюхин И. С., Алибеков С. Я.

Технология пайки твердосплавных пластин на деревообрабатывающий
инструмент..... 57

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.

Оценка водных рекреаций Республики Марий Эл..... 63

Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.

Моделирование особенностей рекреационного потенциала Волжского каскада
и рек на территории Республики Марий Эл 68

Иванов А. В., Хлебов А. Ю.

Горимость лесов Нижегородской области и лесовосстановление после пожаров
в Михайловском районном лесничестве 74

Сведения об авторах 86

Научное издание

ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 12

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

Д. В. Иванов

Редактор

Н. М. Москвичева

Компьютерная верстка

Е. В. Смирнова

Переводы на английский язык предоставлены
авторами статей

Поволжский государственный технологический университет
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Материалы сборника постоянно отражаются в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В сборнике публикуются результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Основные требования к содержанию статей: актуальность, научная новизна, практическая значимость.

Структура научной статьи:

- Заголовок (наименование публикации).
- Ф. И. О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Аннотация (3–4 предложения, 50–100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5–10 слов).

Желательно наличие в статье следующих **рубрик**:

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
- ✓ основной шрифт – Times New Roman, кегль 12; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля – 2 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;
- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, кегль 12;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, кегль 12);
- ✓ **фамилия, имя и отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, кегль 12;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт светлый, прямой, кегль 10;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт светлый, прямой, кегль 10;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт светлый, курсив, кегль 11;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта – кегль 10, заголовки – **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт кегль 10;
- ✓ *список литературы*: заголовок – шрифт строчным, курсивом, кегль 11; список – шрифт прямым, кегль 11;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках; литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5 – 10 лет; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.

*Департамент научной и международной деятельности
Поволжского государственного технологического университета*