

Международный независимый институт Математики и Систем "МиС"

Ежемесячный научный журнал

№10 (21) / 2015

Редакционная коллегия:

Ответственный секретарь — д.ф-м.н.Осмагулов Д.Р. (РФ, Новосибирск)

Главный редактор — д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Члены редакционной коллегии:

Редакционный совет:**Альметьев Кондрат Викторович**

Казанский государственный технологический университет

Бабушкин Сергей Дмитриевич

Казанский государственный технологический университет

Геверов Филипп Александрович

Новосибирский государственный университет

Веренов Артем Денисович

Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра

Дзеркальский Руслан Рамзанович

Алтайский государственный университет

Квит Владимир Арсеньевич

Рязанский государственный радиотехнический университет

Крамской Николай Алексеевич

Белгородский государственный университет

Лутковский Геннадий Владимирович

Ивановский государственный университет

Морин Дмитрий Александрович

Югорский государственный университет

Мезельская Арина Александровна

Рязанский государственный радиотехнический университет

Охрименко Вадим Леонидович

Новосибирский государственный университет

Семченко Игорь Олегович

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Татарских Денис Анатолиевич

Новосибирский государственный университет

Федорин Иван Николаевич

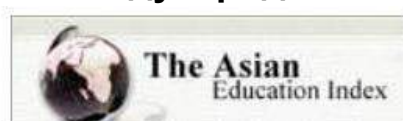
Южный федеральный университет

Ярмоленко Аркадий Леонидович

Санкт-Петербургский госуниверситет

Ответственный редактор

д.ф-м.н.Осмагулов Д.Р. (РФ, Новосибирск)

Международные индексы:

Ответственный редактор:

Главный редактор: д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Международный редакционный совет:

Альметьев Кондрат Викторович

Казанский государственный технологический университет

Бабушкин Сергей Дмитриевич

Казанский государственный технологический университет

Геверов Филипп Александрович

Новосибирский государственный университет

Веренов Артем Денисович

Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра Дзеркальский

Руслан Рамзанович

Алтайский государственный университет

Квит Владимир Арсеньевич

Рязанский государственный радиотехнический университет

Крамской Николай Алексеевич

Белгородский государственный университет

Лутковский Геннадий Владимирович

Ивановский государственный университет

Морин Дмитрий Александрович

Югорский государственный университет

Мезельская Арина Александровна

Рязанский государственный радиотехнический университет

Охрименко Вадим Леонидович

Новосибирский государственный университет

Семченко Игорь Олегович

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Татарских Денис Анатолиевич

Новосибирский государственный университет

Федорин Иван Николаевич

Южный федеральный университет

Ярмоленко Аркадий Леонидович

Санкт-Петербургский госуниверситет

Художник: Курагин Денис Андреевич

Верстка: Еремин Александр Дмитриевич

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях,
ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23

E-mail: info@math-systems.ru ; <http://math-systems.ru/>

Международный независимый институт математики и систем "МИС"

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Гремякина Ольга Александровна
ВВЕДЕНИЕ В НЕИЕРАРХИЧЕСКИЕ
АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS
И K-MEDOIDS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ RAPIDMINER4

*Баландин Л.Н., Грибенников О.А.,
Грибенникова С.Е.*
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
МЕТОДОМ КРИВЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ДАВЛЕНИЯ И ИНДИКАТОРНЫХ КРИВЫХ ...9

Даныкина С.В., Калинина Ю.Е.
АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОЙ
СПУТНИКОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИТЕНЗОРНОЙ
МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА14

Проконова А.Д., Крауиньш П.Я.
КИНЕМАТИКА И АЛГОРИТМЫ
УПРАВЛЕНИЯ 5D МЕХАТРОННЫМ
УСТРОЙСТВОМ. 18

*Тюрин С.В., Трубицын А.С.,
Андреев Р.А., Никитин А.А.*
К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ 22

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Карпачев А.А, Стародубцев П.А.,
Бакланов Е.Н., Шевченко А.П.*
ДРОБНОЕ ИНТЕГРО-
ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ
УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД27

*Юшков А.В., Дьячков В.В.,
Зарипова Ю.А.*
НОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКЕ И СТРУКТУРАХ МИКРОМИРА 33

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ГРЕМЯКИНА ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА

ВВЕДЕНИЕ В НЕИЕРАРХИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS И K-MEDOIDS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ RAPIDMINER

*студент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
Москва*

INTRODUCTION TO NON-HIERARCHICAL CLUSTERING ALGORITHM K-MEANS AND K-MEDOIDS USING SOFTWARE ENVIRONMENTS RAPIDMINER

Gremyakina Olga

student of the National Research Nuclear University "MEPhI"

Moscow

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию и сравнению неиерархических алгоритмов кластеризации k-means и k-medoids с использованием программной среды Rapidminer на выбранном наборе данных. В заключении сделаны выводы об использовании данных алгоритмов.

ABSTRACT

The article is devoted to research and comparison of hierarchical clustering algorithms k-means and k-medoids using software environment Rapidminer on the selected data set. Conclusions has been drawn about use of these algorithms.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных; алгоритм кластеризации; k-means; k-medoids; RapidMiner.

Keywords: Data Mining; clustering algorithm; k-means; k-medoids; RapidMiner.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из часто решаемых задач интеллектуального анализа данных является кластерный анализ (кластеризация). Кластеризация - это объединение множества исследуемых объектов в независимые группы (кластеры) на основе сходства их характеристик.

Кластерный анализ - это общая задача, для решения которой могут применяться различные алгоритмы, которые значительно отличаются по своей концепции представления кластера и эффективности их нахождения. Популярные представления о кластерах включают группы с небольшими расстояниями между элементами кластера, плотные области пространства данных, интервалы или отдельные статистические распределения. Поэтому кластеризации может быть сформулирована как задача многокритериальной оптимизации. Соответствующие настройки алгоритма кластеризации и параметров, в том числе, функция вычисления расстояния, порог плотности или число ожидаемых кластеров,

зависят от исследуемого набора данных и предполагаемого использования результатов. Кластерный анализ является повторяющимся процессом обнаружения знаний или интерактивной многокритериальной оптимизацией, которая включает испытания и неудачи. Поэтому часто необходимо модифицировать этап предварительной обработки данных и параметры модели, пока результат не достигнет желаемых свойств.

Методы разбиения множества на кластеры разделяют на иерархические и неиерархические. В данной статье будут рассмотрены неиерархические алгоритмы кластеризации k-means и k-medoids и результаты их работы в программной среде RapidMiner.

АЛГОРИТМ K-MEANS

Рассмотрим базовые понятия и определения алгоритма k-means [1]:

– входное множество данных, на основе которого строится разбиение:

$$M = \{m_j\}_{j=1}^d,$$

где d - количество точек (векторов) данных;

- метрика расстояния:

$$d_{ji}(m_j, c^{(i)}) = \sqrt{\sum_{t=1}^m m_{jt} - c_t^{(i)}} ,$$

- вектор центров кластеров $C = \{c^{(i)}\}_{i=1}^k$, где k - количество кластеров и $c^{(i)}$ вычисляется по формуле:

$$c^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^d u_{ij} m_j}{\sum_{j=1}^d u_{ij}}, 1 \leq i \leq k$$

(1)

- матрица разбиения $U = \{u_{ij}\}$, где:

$$u_{ij}^{(l)} \begin{cases} 1 \text{ при } d(m_j, c^{(i)}) = \min_{1 \leq i \leq k} d(m_j, c^{(i)}), \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases} \quad (2)$$

- целевая функция - это функция, минимизация которой дает решение задачи кластеризации. Последовательность действий, реализующая поиск минимума целевой функции, является алгоритмом кластеризации:

$$J(M, U, C) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d u_{ij} d_{ji}^2(m_j, c^{(i)});$$

-набор ограничений:

$$u_{ij} \in \{0,1\}; \quad \sum_{i=1}^k u_{ij} = 1; \quad 0 < \sum_{j=1}^d u_{ij} < d,$$

который определяет принадлежность каждого вектора данных только одному кластеру и не принадлежность его к остальным и выполнение условия, что в каждом кластере содержится не менее одной точки, но менее общего количества.

Алгоритм k-means - это итерационная процедура следующего вида:

Шаг 1. Инициализация начального разбиения случайным образом и номера итерации $l = 0$. Выбор количества кластеров k и точности σ для реализации условия завершения алгоритма.

Шаг 2. Определение центров кластеров по формуле (1).

Шаг 3. Обновление матрицы разбиения для минимизации квадратов ошибок, используя формулу (2).

Шаг 4. Проверка условия $\|U^l - U^{l-1}\| < \sigma$. Если условие выполнено, то завершить процесс, в противном случае перейти к шагу 2 с номером итерации $l = l + 1$.

Блок-схема алгоритма k-means представлена на Рис. 1.

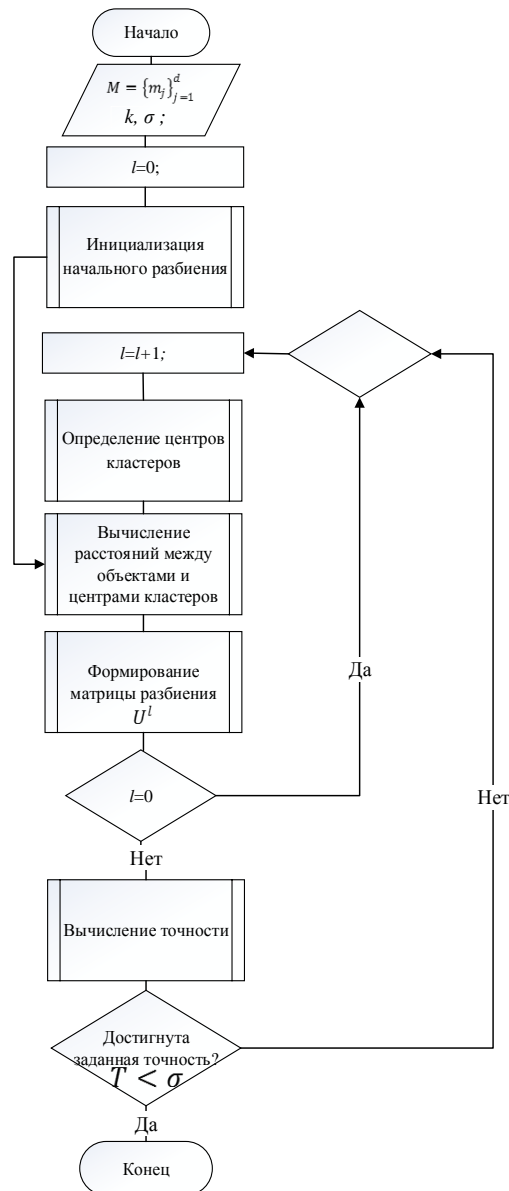


Рис. 1. Блок-схема алгоритма k-means

АЛГОРИТМ K-MEDOIDS

Алгоритм k-medoids представляет собой модифицированный алгоритм k-means, в котором за центр кластера принимается элемент входного множества [2, 3].

АЛГОРИТМЫ В СРЕДЕ RAPIDMINER

Под модель кластеризации данных будем понимать совокупность процесса обработки данных, реализованного с помощью определенного алгоритма кластеризации, и его настраиваемых параметров.

Как отмечалось ранее, результаты работы алгоритма зависят от набора входных данных и настраиваемых параметров модели.

Для исследования был выбран набор данных роста численности населения по регионам РФ за 2000 год из открытого источника [4]. Исходный набор данных включает в себя информацию по показателям численности населения в 89 регионах РФ. Каждому экземпляру данных соответствует шесть атрибутов: регион, удельный вес городского населения, число родившихся на 1000 населения, число умерших на 1000 населения, среднедушевые денежные доходы (руб./мес.), процент населения занятого в экономике (%). При описании исходного набора данных для использования алгоритмов среды RapidMiner всем атрибутам назначается определенная роль. Атрибут «регион» будем использовать для идентификации одного

экземпляра, в RapidMiner – id. Остальные атрибуты описывают отдельный экземпляр класса и называются обычными, в RapidMiner – regular. В среде RapidMiner также могут быть заданы и другие роли для атрибутов: label, name, cluster и др.

На Рис. 2 изображена рабочая область среды RapidMiner с разработанной моделью для алгоритма k-means. Также была разработана аналогичная модель для алгоритма k-medoids.

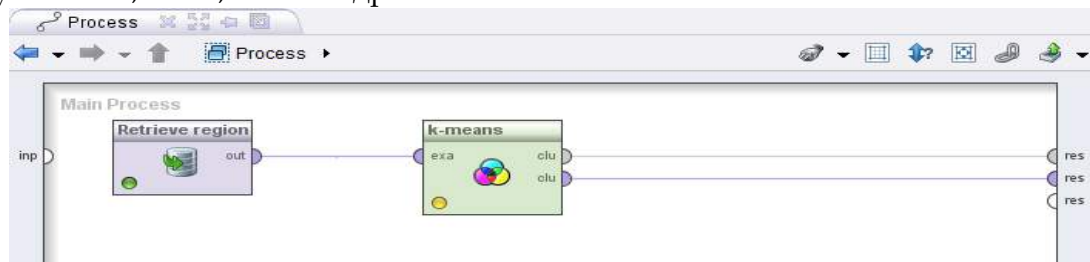


Рис. 2. Рабочая область процесса обработки данных по алгоритму k-means

Важная часть - настройка параметров В

оператора.

Таблица 1 представлены основные параметры оператора и их краткое описание.

Таблица 1 — Описание параметров оператора

Параметр	Описание
add cluster attribute	Создание атрибута, определяющего принадлежность экземпляра данных к кластеру (атрибута cluster)
add as a lable	Значение атрибута label заменяется идентификатором кластера
remove unlabeled	Удаление экземпляров без атрибута label
k	Количество кластеров
max runs	Количество прогонов алгоритма
max optimization steps	Количество итераций для одного прогона

Для исследуемых алгоритмов в качестве параметра «measure types» необходимо указать «NumericalMeasures» (числовое измерение), а для «numerical measure» – «EuclideanDistance» (евклидово расстояние). Для данных алгоритмов можно изменять параметр «numerical measure», т.е. выбирать способ вычисления расстояния между объектами.

По умолчанию значение параметров количества прогонов алгоритма max runs=10 и итераций для одного прогона max optimization steps=100.

В ходе исследования были определены настраиваемые параметры для каждой модели. Проведен ряд экспериментов при фиксированном количестве кластеров (k=5) для определения зависимостей разбиения данных по кластерам от количества прогонов алгоритма (max runs) и от количества

итераций для одного прогона (max optimization steps)

Стабильные результаты работы алгоритма k-means обеспечиваются при параметрах max runs = 7 и max optimization steps = 10, а для алгоритма k-medoids max runs = 7 и max optimization steps = 5.

По результатам исследований можно сделать вывод: для данного набора данных значения параметров, установленных по умолчанию, не влияют на кластеризацию данных и могут быть использованы при дальнейшей работе.

Необходимо отметить, что для каждого набора данных требуется проверять влияние вышеперечисленных параметров. А также для сокращения времени обработки данных можно уменьшать значения этих параметров. При принятии решения о минимальном количестве прогонов и

итераций для одного прогона необходимо учитывать факт стабилизации модели.

Исследование разбиения набора данных на кластеры по алгоритму k-means в зависимости от количества кластеров показало, что при разбиении входного множества на пять кластеров мы получили три подмножества, которые при увеличении количества кластеров мало изменяются.

Таким образом, для исследуемого набора данных рационально разбиение на пять кластеров, т. к. эти подмножества образуют стабильные группы, а при увеличении количества кластеров происходит перераспределение этих подмножеств.

Так же в ходе исследования выявлено, что Магаданская, Мурманская области и Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа не уступают г. Москва и г. Санкт-Петербург по рассматриваемым параметрам и образуют один кластер.

Аналогичное исследование было проведено по алгоритму k-medoids.

При анализе центров кластеров, можно увидеть, что при разбиении формируются подмножества с центрами, которые при изменении количества кластеров остаются постоянными. Максимальное количество таких подмножеств получается при разбиении множества на восемь кластеров.

Так же в ходе исследования выявлено, что Магаданская область и Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа не уступают г. Москва и г. Санкт-Петербург по рассматриваемым параметрам и образуют один кластер.

Если делать выводы относительно объектов г. Москва и г. Санкт-Петербург, то можно сказать, что при кластеризации для образования похожих по составу кластеров по алгоритму k-means потребовалось разбиение на пять кластеров, а по алгоритму k-medoids – восемь.

Заключение

В заключении нужно отметить, что алгоритмы k-means и k-medoids просты и удобны в применении и при интерпретации результатов кластеризации.

В ходе исследования было выявлено, что стабильный состав кластеров при разбиении алгоритмом k-medoids достигается при большем количестве кластеров. Таким образом, можно сделать выводы об использовании алгоритмов:

– если задача исследователя заключается в нахождении схожих групп объектов, то необходимо применять алгоритм k-means;

– если исследователя интересует средние объекты (центры кластеров) из полученных групп, то удобнее применять алгоритм k-medoids.

Необходимо отметить, что данные выводы сделаны при исследовании конкретного набора данных. При анализе других наборов данных не стоит забывать о влиянии на результат пропущенных значений и выбросов.

Список используемых источников

1 Барсегян А., Куприянов М., Холод И. и др. Анализ данных и процессов. СПб.: БХВ-Петербург, 2015, стр. 512

2 Hae-Sang Park, Jong-Seok Lee and Chi-Hyuck Jun. A K-means-like Algorithm for K-medoids Clustering and Its Performance. Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

3 G. Gandhi, R. Srivastava. Analysis and implementation of modified k-medoids algorithm to increase scalability and efficiency for large dataset. IJRET

4 Электронный ресурс «BaseGroup Labs». URL: <http://www.basegroup.ru/download/deductor/>

БАЛАНДИН Л.Н.¹, ГРИБЕННИКОВ О.А.², ГРИБЕННИКОВА С.Е.³

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ КРИВЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ИНДИКАТОРНЫХ КРИВЫХ

¹канд. т.н., доцент Самарского государственного технического университета, г. Самара

²ассистент Самарского государственного технического университета, г. Самара

³ассистент Самарского государственного технического университета, г. Самара

ANALYSIS OF RESULTS OF RESEARCHES BY METHOD OF BUILD-UP CURVES AND INFIOW PERFORMACE RELATIONSHIP CURVES

Balandin Lev Nikolaevich

Candidate of Science, assistant professor of Kursk State University, Samara

Gribennikov Oleg Alekseevich

assistant Kursk State University, Samara

Gribennikova Svetlana Evgenevna

assistant of Kursk State University, Samara

АННОТАЦИЯ

Из практики промысловых исследований известно, что гидропроводность и проницаемость пласта, определяемые по ИК и КВД, во многих случаях значительно отличаются друг от друга. Данная работа посвящена анализу результатов исследований методом КВД и ИК.

ABSTRACT

From practice of trade researches it is known that the hydraulic conductivity and permeability of layer determined by IPR curve and PBUC in many cases considerably differ from each other. This work is devoted to the analysis of results of researches by method of PBUC and IPR.

Ключевые слова: КВД- кривые восстановления давления; ИК-индикаторные кривые.

Keywords: PBUC-pressure build-up curves; IPR curves.

Из практики промысловых исследований известно, что гидропроводность и проницаемость пласта, определяемые по ИК и кривым КВД, во многих случаях значительно отличаются друг от друга. Некоторые исследователи считают, что КВД не дают однозначных результатов, а данные ИК предлагают использовать, как средние для всего пласта в области влияния скважины. Другие полагают, что ИК характеризуют в основном призабойную зону, а остальной пласт освещают КВД.

Рассмотрим связь между уравнением КВД и формулой Дюпюи для установившегося режима (уравнение ИК).

Процесс восстановления давления в скважине после ее мгновенной остановки (пуска) выразим приближенным уравнением:

$$\Delta P(t) = \frac{Q\mu}{4\pi kh} \cdot \ln \frac{2,25\chi t}{r_0^2} \quad (1)$$

формула Дюпюи для установившегося режима работы скважины :

$$Q = \frac{2\pi kh\Delta P}{\mu \ln \frac{R_k}{r_0}} \quad (2)$$

где Q – дебит скважины, см³/сек;
 μ – вязкость нефти, сП;
 k – проницаемость пласта, д;
 χ – пьезопроводность пласта, см²/сек;
 h – эффективная мощность пласта, см;
 r_0 – приведенный (эффективный) радиус скважины, см;
 t – время с момента остановки (пуска) скважины, сек;

R_k – радиус контура питания, см, $\Delta P(t)$ – депрессия в момент времени t , атм;

ΔP – полная депрессия, атм.

Перепишем формулу (2.) в виде:

$$\Delta P(t) = \frac{Q\mu}{2\pi kh} \cdot \ln \frac{R_k}{r_0} \quad (3)$$

Приравняем правые части формул (1) и (3), опираясь на практические результаты промысловых исследований, что для каждой единичной скважины депрессия ΔP , определяемая по формулам (2), (3), численно равна такой величине, которой депрессия на забое $[\Delta P(t)]$, определяемая по формуле (1),

достигает в момент времени t , когда границы расширяющейся воронки депрессии после пуска скважины совпадут с ее контуром питания, или же величине роста давления в скважине через такой промежуток времени t после ее остановки, когда восстанавливающееся давление станет равным динамическому пластовому давлению (давление на контуре питания скважины):

$$\frac{Q\mu}{4\pi kh} \cdot \ln \frac{2,25\chi t}{r_0^2} = \frac{Q\mu}{2\pi kh} \cdot \ln \frac{R_k}{r_0}$$

Проведя преобразования, получим:

$$\frac{1}{2} \ln 2,25\chi t - \ln r_0 = \ln R_k - \ln r_0 \quad R_k = \sqrt{2,25\chi t} = 1,5\sqrt{\chi t} \quad (4)$$

Найдем радиус освещенности пласта методом восстановления давления:

$$R_{осв} = 1,5\sqrt{\chi t} \quad (4a)$$

Таким образом, равенство (4)-это условие, при котором становятся как бы тождественными друг другу равенства (1) и (3).

Видоизменим уравнение (1), введя в него показатель скин-эффекта S :

$$\Delta P(t) = \frac{Q\mu}{4\pi kh} \cdot \left(\ln \frac{\chi t}{r_0^2} + 0,8091 + 2S \right) \quad (5)$$

где r_0 – истинный радиус скважины (по долоту), см; $0,8091 = \ln 2,25$.

Показатель скин-эффекта S , как известно, характеризует влияние состояния призабойной зоны и гидродинамического несовершенства скважины на величину депрессии, необходимой для извлечения определенного количества жидкости из пласта в данной скважине. Несовершенство скважины, как по характеру, так и по степени вскрытия увеличивает скин-эффект, однако, как показывают исследования, последний в первую очередь зависит от состояния самой призабойной зоны.

Дополнительные фильтрационные сопротивления, вызванные гидродинамическим несовершенством скважины, принято определять следующим уравнением:

$$Q = \frac{2\pi kh \Delta P}{\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_0} + C \right)} \quad (6)$$

где $C = C_1 + C_2$, C_1 - показатель, учитывающий дополнительные сопротивления притоку вследствие несовершенства скважины по характеру

вскрытия, C_2 -то же по степени вскрытия пласта.

Рассмотрим, какая связь существует между показателем C в формуле Дююи и показателем скин-эффекта S . Найдем ΔP из формулы (6) и на основании сделанных допущений приравняем правые части, полученной формулы и формулы (5):

$$\frac{Q\mu}{4\pi kh} \left(\ln \frac{2,25\chi t}{r_c^2} + 2S \right) = \frac{Q\mu}{2\pi kh} \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + C \right)$$

После преобразования, учитывая равенство (4), найдем, что:

$$C = S \quad (7)$$

Таким образом, показатель C в формуле Дююи представляет собой обычный показатель скин-эффекта со всеми его особенностями, то есть содержит информацию как о гидродинамическом несовершенстве скважины по характеру и степени вскрытий ($C_1 + C_2$), так и о состоянии призабойной зоны (обозначим соответствующую компоненту через C_3):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (8)$$

Некоторые исследователи в настоящее время приходят к выводу, что большинство скважин, в которых пласт вскрыт кумулятивной или абразивной перфорацией, при применяемой плотности ее практически совершенно по характеру и степени вскрытия, то есть $C_1 \approx C_2 \approx 0$. В этом случае:

$$C = S = C_3 \quad (9)$$

то есть показатель скин-эффекта этих скважин характеризует только состояние их призабойной зоны.

Рассмотрим далее, в какой связи друг с другом находятся показатель скин-эффекта $S = C$ и приведенный радиус скважины r_0 . Для этого приравняем правые части формул (1) и (5). В результате получим зависимость:

$$r_0 = r_c e^{-S} \quad (10)$$

Приведенному радиусу скважины r_0 , таким образом, присущи все свойства показателя скин-эффекта S , то есть он характеризует в основном состояние призабойной зоны скважины. При этом очевидно, что если проницаемость призабойной зоны меньше проницаемости остального пласта - в области влияния скважины, то приведенный радиус будет меньше истинного радиуса скважины по долоту ($r_0 < r_c$); если, наоборот, проницаемость

призабойной зоны больше проницаемости остального пласта, то $r_o > r_e$

Из сказанного следует, что подставляя в формулу Дюпои (2), применяемую для определения параметров пласта по ИК, значение r_o , получаемое из КВД, исключаем влияние состояния призабойной зоны на величину искомых параметров. Поскольку формула (2) может быть выведена из уравнения (1), как частный случай для момента времени t , при котором становится справедливым равенство (4), то параметры $\frac{kh}{\mu}$ и k , определяемые по ИК, при такой подстановке r_o должны быть равны соответствующим параметрам, определяемым из одновременно снятой КВД. Некоторая разница в значениях их будет вызвана только приблизительным подсчетом R_k , поскольку точное значение времени t часто бывает трудно установить. Так как в данном случае по КВД параметры определяются точнее, то такая подстановка r_o не имеет смысла.

Аналогичные результаты будут получены, если множитель $\ln \frac{R_k}{r_o}$ в знаменателе формулы Дюпои (2) заменим на эквивалентный ему:

$$\ln \frac{R_k}{r_o} + C, \text{ где } C = S = C_1 + C_2 + C_3.$$

Допустим теперь, что скважина несовершенна по характеру и степени вскрытия и имеет призабойную зону с параметрами, отличающимися от параметров остального пласта.

Найдем из формулы (6) проницаемость пласта k :

$$k = \frac{Q\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + C \right)}{2\pi h \Delta P} \quad (11)$$

Очевидно, что эта формула, записанная без показателя C , даст значение проницаемости пласта k'' , искаженное в той или иной степени влиянием несовершенства скважины и изменения проницаемости в призабойной зоне:

$$k'' = \frac{Q\mu \ln \frac{R_k}{r_c}}{2\pi h \Delta P} \quad (12)$$

Найдя показателя C_1 и C_2 , характеризующие несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия пласта, и подставив их в уравнение (11), получим значение проницаемости k' , отличное от k и на

величину, обусловленную только состоянием призабойной зоны скважины:

$$k' = \frac{Q\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2 \right)}{2\pi h \Delta P} \quad (13)$$

Эта формула является расчетной для определения проницаемости по ИК.

Вычислив, каким-либо способом показатель C_3 , характеризующий дополнительные сопротивления притоку в призабойной зоне за счет изменения ее проницаемости, подставим его в уравнение (11), получим проницаемость:

$$k = \frac{Q\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2 + C_3 \right)}{2\pi h \Delta P} \quad (14)$$

k характеризует основную часть пласта и эквивалентна определяемой по КВД. Последняя формула не применима для анализа ИК, так как делает метод установившихся отборов лишенным смысла, параметр k быстрее и точнее можно определить по КВД.

Ранее мы отметили, что C_1 и C_2 для определенной группы скважин можно считать приблизительно равными нулю. В этом случае расчетная формула (13) будет упрощена и примет вид уравнения (12):

$$k' = \frac{Q\mu \lg \frac{R_k}{r_c}}{2\pi h \Delta P}$$

Подставив в уравнение (12) истинный радиус скважины (по долоту), получим проницаемость, характеризующую в основном призабойную зону скважины, отличающуюся от проницаемости остального пласта, определяемой по КВД, на величину, обусловленную состоянием призабойной зоны (показателем $C_3 = S$). Сравнивая результаты, полученные по каждому из них, можно сделать количественный вывод о состоянии призабойной зоны и соответственно запланировать необходимые геолого-технические мероприятия.

Сравнение значений проницаемости k и k' дает более наглядное представление о состоянии призабойной зоны, чем величина показателя скин-эффекта S (определяемая непосредственно по КВД), которая, в свою очередь, более удобна для анализа, чем приведенный радиус скважины r_0 .

Формулу (12) можно упростить, сведя постоянные величины:

$$\kappa_{\eta} = \frac{0.366 \eta \mu l g \frac{R_k}{r_c}}{h} \quad (15)$$

Здесь обозначение κ^1 мы заменили на κ_{η} , чтобы подчеркнуть, что проницаемость определяют по коэффициенту продуктивности скважины. $\eta = \frac{Q}{\Delta P}$ (то есть – по ИК). η измеряется в $\frac{\text{см}^3}{\text{сек} \cdot \text{ат}}$, κ_{η} – в дарси,

Для практических расчетов формула принимает вид:

$$\kappa_{\eta} = \frac{4,23 \eta b \mu \ln \frac{R_k}{r_c}}{h \gamma_{\text{пов}}} \quad (16)$$

где b – объемный коэффициент нефти; $\gamma_{\text{пов}}$ – удельный вес жидкости в поверхностных условиях, $\text{г}/\text{см}^3$; h , – см.

Для расчета удобна формула коэффициента совершенства скважины φ .

$$\varphi = \frac{\lg R_k - \lg r_c}{\lg R_k - \lg r_0} \quad (17)$$

В отличие от [2, с. 34] этот коэффициент обозначается через φ .

Поскольку в эту формулу в качестве переменной величины входит приведенный радиус r_0 , характеризующий скин-эффект, то коэффициент φ также предстает одним из показателей скин-эффекта. При этом, если принять, что $C_1=C_2=0$, под совершенством скважины следует понимать «чистоту» ее призабойной зоны. Если проницаемость призабойной зоны меньше проницаемости пласта, то $\varphi < 1$, и наоборот.

Между приведенным радиусом r_0 , определяемым по КВД, и приведенным радиусом, определяемым по графикам В. И. Щурова или другим аналогичным способом, учитывающим только характер и степень вскрытия пласта (обозначим его

r'_0), существует большое различие, а именно:

$$r_0 = r_c e^{-S} = r_c e^{-C} = r_c e^{-(C_1+C_2+C_3)} \quad (18)$$

$$r'_0 = r_c e^{-C''} = r_c^{-(C_1+C_2)} \quad (19)$$

Величина r_0 содержит информацию как о гидродинамическом совершенстве скважины по характеру и степени вскрытия, так и о состоянии призабойной зоны; ей соответствует проницаемость, характеризующая удаленные области пласта и определяемая по формулам (2), (11), (14) и по КВД. Величина r'_0 содержит только информацию о совершенстве скважины по характеру и степени вскрытия пласта; ей соответствует проницаемость, определяемая по формуле (13), то есть по ИК, и характеризующая в основном призабойную зону. Если принять, что $C_1=C_2=0$, то $S=C=C_3$; следовательно:

$$r_0 = r_c e^{-C_3} = r_c e^{-S} \quad (20)$$

$$r'_0 = r_c \quad (21)$$

то есть если скважина гидродинамически совершенна, то отличие ее приведенного радиуса от истинного определяет величина показателя скин-эффекта, который в данном случае обусловлен только состоянием призабойной зоны. Проницаемость, соответствующую равенству (20), следует определять по формулам, указанным в пояснении к равенству (18). Различие в значениях проницаемости (и гидропроводности) при забойной зоны и остального пласта может быть вызвано как естественными, причинами, так и искусственными. Сделанные замечания об изменении показателей обобщены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели, характеризующие скин-эффект скважины, при различных величинах проницаемости призабойной зоны

Состояние призабойной зоны скважины	Показатель скин-эффекта	Приведенный радиус скважины	Коэффициент совершенства скважины
$\kappa^1 < \kappa^{**}$	$S > 0$	$r_0 < r_c$	$\varphi < 1$
$\kappa^1 = \kappa$	$S = 0$	$r_0 = r_c$	$\varphi = 1$
$\kappa^1 > \kappa$	$S < 0$	$r_0 > r_c$	$\varphi > 1$

* κ^1 – проницаемость призабойной зоны, в значительно» степени определяющая величину проницаемости κ_{η} , находимой по ИК.

** κ – проницаемость остальной части пласта, определяемая по КВД.

Несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия, если оно имеет место, приводит к увеличению показателя скин-эффекта S и уменьшению r_0 и ϕ , что особенно заметно в случае, когда $k_1 = k$.

Такиим образом, можно сделать следующие выводы:

1. Различие в величинах параметров пласта, определяемых по КВД и по ИК, в случае применения для расчетов по ИК формулы (13), а если скважина гидродинамически совершенна, то - формулы (12) или (15), зависит только от состояния призабойной зоны скважины. Если проницаемость призабойной зоны больше проницаемости остальной части пласта, то по ИК получатся большие значения этих параметров, чем по КВД и наоборот.

2. Равнозначно характеризуют скин-эффект скважины следующие взаимно обусловленные параметры: показатель скин-эффекта S , приведенный радиус скважины r_0 , коэффициент совершенства ϕ , определяемые из КВД на основе соответствующих формул (5), (10), (17). Основной показатель – S .

3. Показатель S , применяемый в формуле Дюпюи (6), (11), тождествен показателю скин-эффекта S , определяемому по КВД, то есть содержит информацию как о несовершенстве скважины по характеру и степени вскрытия (если оно имеет место), так и о состоянии призабойной зоны скважины, что видно из равенств (7), (8), (9).

Показатель S' определяемый по графикам В. И. Щурова, отличен от

показателя S тем, что характеризует только несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия пласта (уравнения (18), (19), (20) и (21)).

4. Из разницы между показателями S и S' вытекает существенное отличие величины приведенного радиуса скважины r_0 , определяемой по КВД, от величины приведенного радиуса r_0' , определяемой по графикам, В. И. Щурова. Отождествление их совершенно недопустимо.

5. Подстановка r_0 или $S = S'$, определенных по КВД, в формулу Дюпюи соответственно вида (2) или (11) устраняет влияние состояния призабойной зоны на величину определяемых параметров пласта; эти параметры получаются такими же, как и определенные по одновременно снятой КВД. Различие между ними может быть вызвано только неточным определением R_k . При подстановке в формулу Дюпюи истинного радиуса скважины (по долоту) r_c получаются результаты, описанные в выводе 1.

Список литературы

1. Васильевский В.Н., Петров А.И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М.: Недра, 1973. - 344 с.
2. Временная инструкция по гидродинамическим исследованиям пластов и скважин. М., Гостоптехиздат, 1963. - 69 с.
3. Крылов А. П. и др.. Проектирование разработки нефтяных месторождений. М., Гостоптехиздат, 1962. - 430 с.
4. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. Учебное пособие для вузов. - М: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. - 816 с.

ДАНЫКИНА С.В.¹, КАЛИНИНА Ю.Е.²

АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МУЛЬТИТЕНЗОРНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА

¹студентка магистратуры Сибирского государственного аэрокосмического университета, г.
Красноярск

²студентка магистратуры Сибирского государственного аэрокосмического университета, г.
Красноярск

THE ANALYSIS OF THE COMBINED SATELLITE COMMUNICATION NETWORK WITH
USE OF THE MULTITENSOR DISTRIBUTION MODEL OF TRAFFIC

Danykina Svetlana Vladimirovna

*Magister student of Siberian State Aerospace University,
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Kalinina Yulia Evgenyevna

*Magister student of Siberian State Aerospace University,
Krasnoyarsk, Russian Federation*

АННОТАЦИЯ

В настоящее время одной из развивающихся спутниковых сетей связи является комбинированная сеть, в которой объединены космические аппараты на низкой и геостационарной орбите. В работе будет проведен анализ комбинированной спутниковой сети с помощью мультитензорной модели распределения трафика. Результатом данного анализа будет получение времени задержки для модели комбинированной сети связи.

ABSTRACT

Presently, one of the emerging satellite networks is a combined network, which contains spacecrafts in low and geostationary orbit. This article will analyze the combined satellite network using the multitensor distribution model of traffic. The result of this analysis will be the time of delay for model of combined network.

Ключевые слова: спутниковая связь, комбинированная система связи, мультитензорная модель, время задержки обработки информации.

Keywords: satellite communication, combined communication system, multitensor model, time of delay information processing.

Современное общество характеризуется массовым спросом на предоставление индивидуальных широкополосных услуг связи, но существующие наземные сети и системы связи не справляются с растущими потребностями общества, поэтому идет активное развитие спутниковой связи.

Существующие спутниковые системы связи обладают рядом достоинств и недостатков, которые напрямую связаны с расположением космических аппаратов на орбите. Низкоорбитальные системы связи существенно снижают энергопотенциал линий связи, что позволяет снизить массу, габариты и стоимость абонентских терминалов. Такие системы обеспечивают бесперебойную связь в любой точке Земли. При таком способе организации спутниковой сети используется большое

количество космических аппаратов. Это компенсируется снижением затрат на выведение спутников на низкую орбиту. Наличие межспутниковой связи приводит к увеличению массы, габаритов и стоимости космических аппаратов. Спутниковые системы на геостационарной орбите лишены таких недостатков, но у них есть свои минусы, которые влияют на качество обслуживания. Это низкая эффективность использования полосы частот, ослабление сигнала, большая задержка сигнала.

Таким образом, можно объединить достоинства и сгладить недостатки низкоорбитальных и геостационарных спутниковых систем связи используя комбинированную спутниковую сеть связи. Такая система обеспечит надежную связь и обмен данными в реальном масштабе времени между пользователями.

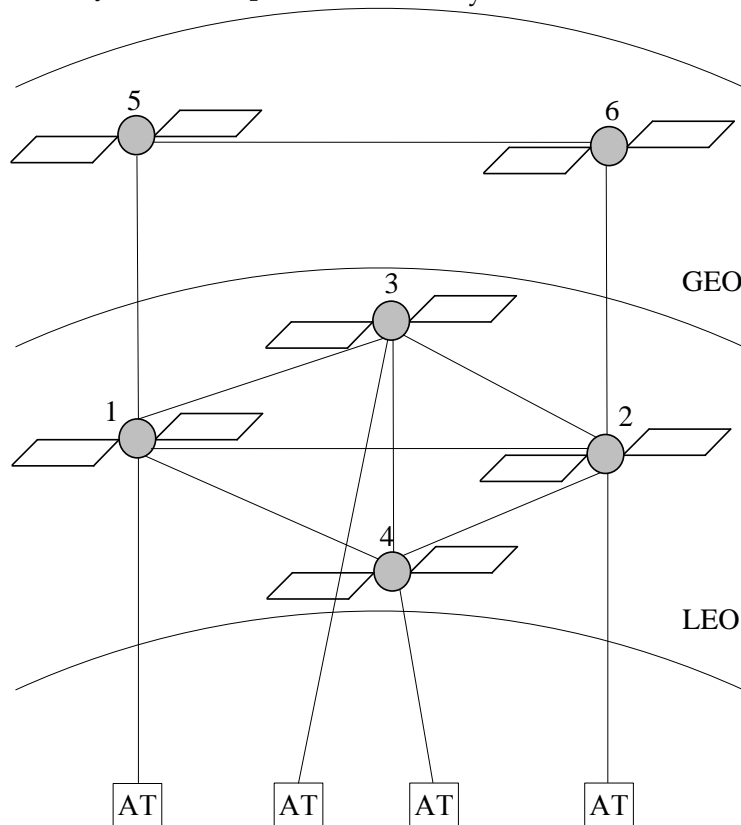
Анализ распределения трафика основан на вероятностно-временных характеристиках, которые позволяют оценить и улучшить качество обслуживания. Это в свою очередь является актуальной задачей развития современных инфокоммуникационных спутниковых сетей.

Для оценки вероятностно-временных характеристик будет использоваться мультитензорная модель распределения трафика. Анализ мультитензорной модели распределения трафика аналогичен тензорному анализу, но в более сложной форме и при учете нескольких информационных потоков, которые могут поступать в сеть одновременно. Мультитензор является совокупностью тензоров, находящихся в одной системе координат, следовательно, мультитензор использует несколько систем координат с разным числом осей по возможности. Для каждой системы координат применяется свой тензор преобразования. Переход к мультисети осуществляется с помощью замены скалярных величин на тензоры, затем тензоры заменяются на мультитензоры [1].

В качестве мультитензорной модели распределения трафика в спутниковых сетях далее будет рассматриваться комбинированная спутниковая сеть связи, которая изображена на рисунке 1. Она состоит из спутниковых систем, размещенных на геостационарной орбите, низкоорбитальных спутниковых систем, соединенных по принципу «каждый с каждым», и абонентских терминалов.

Вводятся следующие параметры для описания данной мультитензорной модели распределения трафика:

- 1) $\lambda^{\alpha(i)}$ – вектор поступления информации с интенсивностью равной интенсивности поступления i – го потока;
- 2) $\mu^{\alpha\alpha(i)}$ – вектор интенсивности обслуживания i – го потока;
- 3) $\rho_{\alpha(i)}$ – вектор загрузки систем распределения информации i – го потока;
- 4) $C_{\alpha'(i)}^{\alpha(i)}$ – многомерная матрица перехода для контурного метода;
- 5) $t_{\alpha\alpha}$ – вектор длительности обслуживания.



GEO – геостационарная орбита, LEO – низкая круговая орбита, AT – абонентский терминал

Рисунок 1 – Комбинированная спутниковая сеть связи

Так как модель является мультитензорной, это значит, что от пользователей могут поступать несколько потоков информации с различными значениями интенсивностей поступления одновременно. При этом на участках сети, на которых маршруты этих потоков будут совпадать, интенсивности поступления информационных потоков систем будут суммироваться:

$$\lambda^{\alpha(1)(2)} = \lambda^{\alpha(1)} + \lambda^{\alpha(2)} \quad (1)$$

Для анализа трафика комбинированной спутниковой сети связи можно воспользоваться контурным методом тензорного анализа. На рисунке 2 представлена контурная модель комбинированной спутниковой сети связи. Системы модели 59 и 60 являются мнимыми и обеспечивают формирование замкнутых контуров между спутниковыми системами.

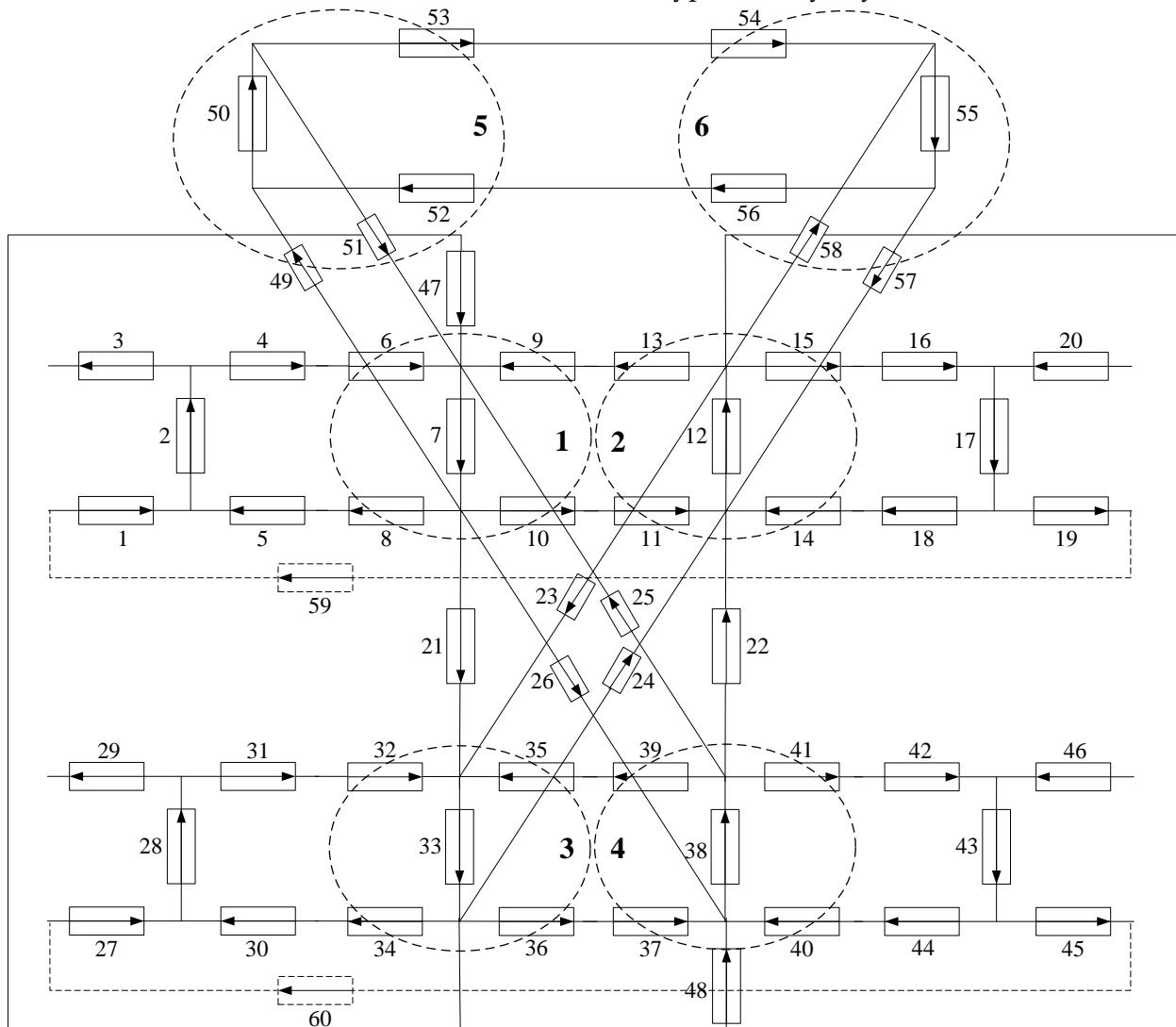


Рисунок 2 – Модель комбинированной спутниковой сети связи, исследуемая контурным методом

Каждое устройство сети представлено в виде входящих и исходящих интерфейсов и центральной системы обработки. Каждому такому элементу соответствует система массового обслуживания. В данном случае в качестве систем массового обслуживания используются системы $M/M/1$.

Рассчитаем время задержки модели комбинированной спутниковой системы связи. Исходные данные: длительность

обслуживания во всех системах одинакова и равна 0,01. Существует два потока с различными значениями загрузки 0,3 и 0,4. Интенсивности поступления информационных потоков равны 30 и 40 соответственно. Матрица перехода C здесь не приводится в связи с большой размерностью.

Рассматриваются следующие маршруты сети:

- маршрут 1-5-6-2 от абонентского терминала первого низкоорбитального спутника до абонентского терминала второго спутника через геостационарные спутниковые системы 5, 6;

- маршрут 3-1-5-6-2-4 от абонентского терминала третьего низкоорбитального спутника до абонентского терминала четвертого спутника через спутники 1, 5, 6, 2.

- маршрут 1-5-6-2 проходит по сети с интенсивностью поступления первого потока, маршрут 3-1-5-6-2-4 с интенсивностью поступления второго потока при одинаковой длительности обслуживания каждой системы.

Контурные интенсивности для данной сети рассчитываются согласно тензорному анализу сетей [2]. Уравнение состояния вспомогательной сети будет иметь вид:

$$(C_{\beta'}^{\beta})_t \rho_{\beta} = (C_{\beta'}^{\beta})_t t_{\beta\beta} C_{\beta'}^{\beta} \lambda^{\beta'} \quad (2)$$

$$\lambda^{\alpha(1)(2)} = (60,7 + 80,9) \cdot 2 + (22 + 29,2) \cdot 4 + (39,8 + 53) \cdot 2 = 673,6$$

Среднее число требований в системе модели $M/M/1$ [3]:

$$\bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (5)$$

Среднее время задержки для всей сети находится по формуле:

$$T_{\Sigma delay} = \sum_i \frac{\bar{t}_i}{1 - \rho_i} \quad (6)$$

$$T_{\Sigma delay} = \left(\frac{0,01}{1 - 0,21}\right) \cdot 3 + \frac{0,01}{1 - 0,42} + \dots + \left(\frac{0,01}{1 - (0,61 + 0,81)}\right) \cdot 2 = 1,147 \quad (7)$$

Полученные результаты говорят о том, что контурный метод может использоваться для анализа мультитензорной модели распределения трафика.

С помощью использования мультитензорных моделей можно перераспределять трафик в спутниковых сетях для того чтобы обеспечивать заданный уровень качества обслуживания. Анализ таких моделей производится с помощью тензорного подхода. Это позволяет для разных систем обслуживания оценить

С помощью решения уравнения (2) относительно контурных интенсивностей находится распределение трафика исследуемой сети по формуле (3):

$$\lambda^{\alpha} = C_{\beta'}^{\alpha} \lambda^{\beta'} \quad (3)$$

Далее находятся загрузки каждой системы как в уравнении состояния примитивной сети (4):

$$P = T\Lambda \quad (4)$$

Значения интенсивностей и загрузок в узлах сети для обоих потоков не приводятся из-за большой размерности.

Участком сети, на котором оба маршрута пересекаются друг с другом, является участок 1-5-6-2. Он состоит из восьми систем модели 7, 49, 50, 53, 54, 55, 57, 12. Следовательно, интенсивности поступления для каждой системы модели на общем участке сети находятся по формуле (1). Тогда суммарная интенсивность на участке 1-5-6-2:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{\mu_i}$$

где \bar{t}_i - средняя длительность обслуживания в системе;

ρ_i - загрузки в узлах сети.

Таким образом, среднее время задержки для мультитензорной модели комбинированной спутниковой сети связи:

загрузку, тем самым контролировать и анализировать качество обслуживания.

Список литературы:

1. Крон Г. Тензорный анализ сетей. - М.: Советское радио, 1978. - 720 с.
2. Пономарев Д.Ю. Модель распределения трафика для перспективных инфокоммуникационных спутниковых сетей // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 1.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. - 600 с.

ПРОКОПОВА А.Д., КРАУИНЫШ П.Я.

КИНЕМАТИКА И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ 5D МЕХАТРОННЫМ УСТРОЙСТВОМ.

*д.т.н., профессор,
Томский политехнический университет*

В работе рассмотрены вопросы синтеза законов движения исполнительных приводов, обеспечивающих точное пяти координатное управления положением рабочей точкой стола. Рассмотрено влияние конструктивных параметров кинематики на законы движения приводов для заданного объема манипуляции рабочей точки стола.

*Ключевые слова: механизм с параллельными кинематическими цепями, рабочее пространство.
KINEMATICS AND ALGORITHMS OF CONTROL 5D OF THE MECHATRONIC DEVICE.*

A.D. Prokopa., P.Y. Krauinsh.

Tomsk polytechnic university

The paper deals with the synthesis of the laws of motion actuators providing precise five coordinate control the operating point of the table. The influence of the design parameters of the kinematics of the laws of motion drives for a given amount of manipulation of the operating point of the table was studied in this work.

Keywords: equipment with parallel kinematics, workspace.

Перспективность использования механизмов с параллельной кинематикой при построении технологического оборудования не вызывает сомнений, так как обладают рядом положительных качеств [1,2]. При проектировании технологического оборудования, построенного на основе таких механизмов, возникает потребность в решении задач кинематики и динамики.

Составление уравнений кинематики рассмотрено во многих публикациях, например [3, 4]. Эти уравнения могут использоваться при анализе рабочего пространства механизма с параллельной кинематикой [5], а также при решении траекторных задач применительно к технологическому оборудованию, построенному на основе подобных механизмов. При решении задач динамики возникает

необходимость получить уравнения, позволяющие описывать поведение оборудования и его элементов, т. е. в построении динамической модели. Эти уравнения позволят осуществлять моделирование работы оборудования на качественно более высоком уровне, по сравнению с уравнениями кинематики, в том числе обеспечивать исследования динамических погрешностей при решении траекторных задач.

Рассмотрим механизм типа «гексапод» [3] и приводы, обеспечивающие движение элементов этого механизма. Гексапод включает в себя подвижную платформу, соединенную с основанием с помощью шести штанг, способных изменять свою длину (рис. 1).

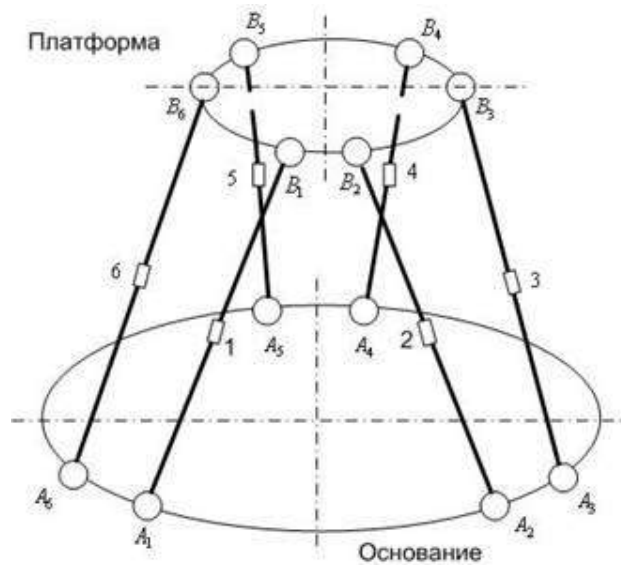


Рис.1

В таких устройствах, как гексапод и немецкий станок MetromP1000 используются подвижные приводы и поэтому длина шатунов в этих устройствах переменна. А у нашего устройства с параллельной кинематикой в местах стыка шатуна и толкателя установлен шаровый шарнир, и поэтому длина шатуна остается постоянной

На рисунке 2 приведена схема механизма с параллельной кинематикой. Подвижный рабочий стол предназначен для размещения на нем в центральной точке специального сопла «печатающей» головки с нагревателем, через который подается расплав неорганического вещества. Управляя положением сопла, с определенной ориентацией положения

кромки сопла, на которой находится микро капля расплава, по трем декартовым координатам, с добавочными наклонами сопла по координатам A_i и B (повороты вокруг оси X и Y), можно «напечатать» трехмерный каркас со сложной поверхностью и порами, имеющие сложную пространственную ориентацию. Число требуемых управляемых координат, для обеспечений пространственной ориентации рабочей точки, зависит, как от ориентации координат привода и их вида (линейные или угловые перемещения), так и от числа степеней подвижности, которые обеспечиваются шарнирными опорами (2 или 3 степени).

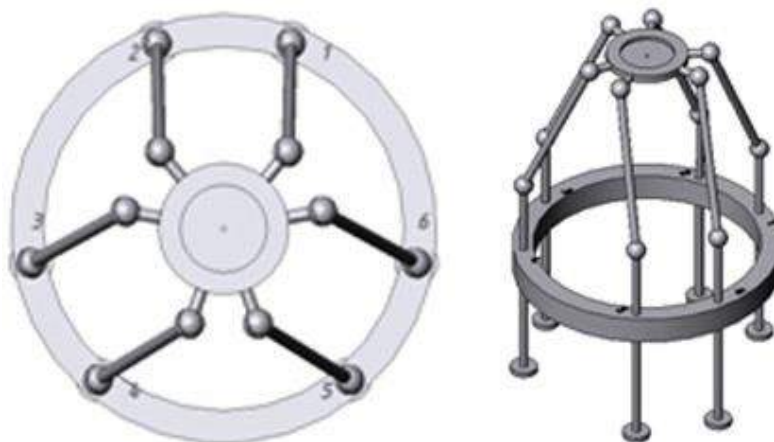


Рис.2. Кинематическая схема 5D-принтера..

(цифрами на неподвижном основании обозначены номера координат приводов – направление их движения ориентированы по оси Z)

В выбранной схеме все шаровые опоры имеют три степени свободы, все приводы обеспечивают линейное перемещение толкателей вдоль оси Z и расположены на образующей цилиндра с постоянным радиусом. Толкатели попарно сгруппированы, а пары, в угловом отношении, расположены под углом 120° . Аналогично попарно сгруппированы опоры на подвижном столе. Шатуны с шаровыми опорами имеют одинаковую длину. В отличие от других устройств, расположение приводов, как показано на рисунке 2, позволяет уменьшить расчеты, так как координата по оси Z «закреплена».

В данной работе рассматривается схема механизма с параллельной кинематикой, у которого все управляющие движения ориентированы вдоль оси Z , что позволяет исключить зависимость координат отдельного привода от координаты Z рабочей точки подвижной платформы. Если рабочая точка подвижной платформы при движении по пространственно-временной траектории требует изменения координаты Z , то все координаты исполнительных элементов приводов требуют изменения своего положения на такую же величину, что исключает в алгоритме управления необходимость этих расчетов.

Толкатели сгруппированы в пары, которые расположены симметрично относительно друг друга, а каждая пара расположена относительно других под углом 120° . Аналогично попарно сгруппированы опоры на подвижном столе, а сам подвижный стол повернут вокруг оси Z на угол 60° . Для обеспечения равномерной нагрузки и большей нагрузочной способности во всей зоне манипулирования, радиус расположения шаровых опор подвижной платформы выбран несколько меньше чем радиус расположения толкателей. При этом шатуны, передающие движение от толкателей подвижной платформе, имеют одинаковую длину. Заметим, что такое исполнение позволяет освободить весь внутренний объем механизма от каких-либо частей привода, поэтому пустое место может быть заполнено технологическими устройствами.

В большинстве работ, посвященных анализу механизмов с параллельной кинематикой, вне зависимости от расположения направлений движения исполнительных органов приводов и самой кинематики механизма, решается прямая задача: задано движение рабочей точки, и по аналитическим зависимостям требуется установить связь этих координат с координатами управляемых приводов в декартовой системе:

$$\bar{P}(p1, p2, p3, p4, p5, p6) = \bar{M}(x, y, z, A, B, C) \quad (1)$$

Здесь векторы \bar{M} и \bar{P} с координатами рабочей точки и, соответственно, каждого из приводов; координата C - поворота вокруг оси z рабочей точки платформы равна «0».

Действительно, любой механизм при создании проходит несколько стадий от идеи до реализации в опытной или серийной продукции. Это означает, что все параметры механизма, необходимые для расчета функциональной связи между пространственным вектором рабочей точки \bar{M} платформы и вектором \bar{P} исполнительных механизмов приводов, известны. Поэтому эта часть алгоритма не требует его размещения в систему управления приводами. Результаты расчета этого вычислительного алгоритма могут быть размещены в массив или связанный список в следующем виде:

$$\bar{P}(p1, p2, p3, p4, p5, p6) = \bar{M}(x, y, z, A, B, C) \quad (2)$$

В случае, когда конкретный механизм имеет некоторые отклонения от заданных номинальных геометрических размеров, являющихся параметрами сложного вычислительного алгоритма (1), в него могут быть внесены эти конкретные параметры и уточнен конечный результат вычислений (2) начальной задачи. Таким образом, на основе результатов вычисления может быть создан новый поисковый алгоритм определения текущих компонентов вектора приводов \bar{P} , на основе заданной пространственно-временной траектории в пространстве вектора рабочей точки \bar{M} . Объем памяти, занимаемый этой матрицей (связанным списком), определяется произведением чисел дискретных точек, необходимых для реализации с заданной точностью любые возможные пространственно-временные

траектории в заданном объеме, манипулирования точки M .

На основании проведенных исследований механизма с параллельной кинематикой установлено, что вычислительную часть алгоритма не следует возлагать на систему управления приводами механизма, и тем самым существенно сократить требуемые вычислительные ресурсы системы. Это, по нашему мнению, существенно снижает стоимость таких устройств, и благодаря этому они становятся более доступны для своих пользователей.

Библиографические ссылки.

1. Смирнов В. А., Петрова Л. Н. Динамическая модель механизма с параллельной кинематикой // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2009. №11 с.144.

2. Смирнов В. А. Кинетостатическое моделирование энергоэффективного управления оборудованием с параллельной кинематикой // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2010. №29 с. 205.

3. Обработывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковалев и др.; под ред. В.Л. Афолина. - М.: Машиностроение, 2001.-256 с.

4. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др.; под общ. ред. А.И. Корендясева. -М.: Машиностроение, 1989. - 472 с.

5. Bulca, F. The kinematics and workspace analysis of platform mechanisms: a thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies

and Research in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / F. Bulca. -Montreal: Department of Mechanical Engineering McGill University, 1998.

6. Коловский, М.З. Динамика машин / М.З. Коловский. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 263 с.

References

[1] Smirnov V.A., Petrova L.N. The dynamic model of the mechanism with parallel kinematics // Bulletin of SUSU. Series: Engineering technology. 2009. No. 11, p. 144.

[2] Smirnov V.A. Kinetostatic modeling of energy-efficient control of equipment with parallel kinematics // Bulletin of SUSU. Series: Engineering. 2010. No. 29, p. 205.

[3] The processing equipment of new generation. Concept of design / V. L. Afonin, A.F. Kraynev, V. E. Kovalyov, etc.; under the editorship of V. L. Afonin. - M.: Mechanical engineering, 2001.-256 pages.

[4] Handling systems of robots / A.I. Korendyasev, B. L. Salamandra, L.I. Tyves, etc.; under a general edition of A.I. Korendyasev. - M.: Mechanical engineering, 1989. - 472 pages.

[5] Bulca, F. The kinematics and workspace analysis of platform mechanisms: a thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / F. Bulca. -Montreal: Department of Mechanical Engineering McGill University, 1998.

[6] Kolovsky, M. Z. Dinamika of cars / M. Z. Kolovsky. - L.: Mechanical engineering. Leningr. otdeleniyeniye, 1989. - 263 pages.

ТЮРИН С.В.¹, ТРУБИЦЫН А.С.², АНДРЕЕВ Р.А.³, НИКИТИН А.А.⁴

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

¹ведущий эксперт ООО «Протос Экспертиза», г. Владимир

²ведущий эксперт ООО «Протос Экспертиза», г. Владимир

³директор филиала ООО «Протос Экспертиза», г. Владимир

⁴заместитель генерального директора, руководитель экспертного центра
ООО «Региональная Промышленная Стратегия»

TO A QUESTION OF ASSESSMENT TECHNICAL STATE OF GAS PIPELINE

Tyurin Sergey

leading expert of "Protos Ekspertiza", Vladimir

Trubitsin Alexander

leading expert of "Protos Ekspertiza", Vladimir

Roman Andreev

branch director of "Protos Ekspertiza", Vladimir

Nikitin Andrey deputy director general, head of expert center «Regional'naja Promyshlennaja Strategija»

АННОТАЦИЯ

Проблемы техногенной безопасности являются весьма актуальными для современного общества и при эксплуатации газотранспортной системы играют также первостепенную роль. Большая протяженность и сложившаяся возрастная структура магистральных газопроводов (возраст свыше 30 лет имеют более трети эксплуатируемых труб) являются факторами, объясняющими большое число крупных аварий и катастроф. Утечка газа является причиной взрывов, сопровождающихся пожарами, повреждением сооружений и гибелью людей. Целью работы является систематизация информации о задачах технического диагностирования газопроводов, многообразии их дефектов и применении некоторых инструментов НК.

ABSTRACT

Газоснабжение, представляющее собой совокупность процессов транспортировки, распределения и потребления природного газа, формирует энергетическую основу экономики РФ. В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» [11] создана и продолжает развиваться Единая система газоснабжения. В её состав входят более 160 тыс. км магистральных газопроводов (МГ), около 300 компрессорных и 4000 газораспределительных станций, 20 объектов подземного хранения газа. Учитывая растущие темпы потребления природного газа, увеличение объемов его добычи и транспортировки к местам потребления, вопросы обеспечения надежности, оценки технического состояния и обнаружения утечек из МГ приобретают всё большую актуальность.

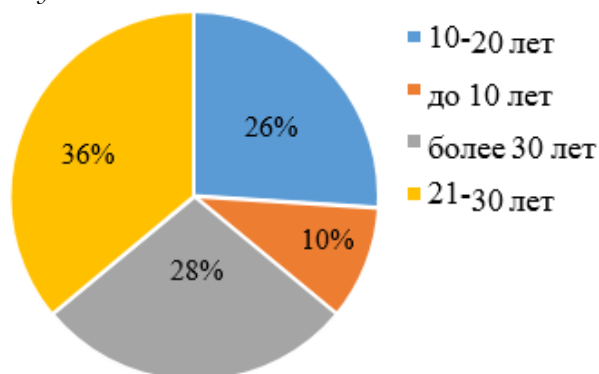


Рис. 1. Возрастная структура объектов газотранспортной системы

Развитие дефектов сварных швов и основного металла труб заводского происхождения, возникновение естественного эксплуатационного износа (практически треть труб имеет возраст свыше 30 лет), а также образование внешней и внутренней коррозии является газопроводного транспорта (рис. 1).

Нередки случаи, когда аварии сопровождаются утечкой газа в атмосферу, в дальнейшем, по мнению исследователей [1, 3], их число может только возрасти. Утечки газа являются причиной серьезных аварий – взрывов и разрывов газопроводов,

сопровождающихся пожарами, повреждением сооружений, потерей огромных количеств углеводородного сырья, негативным воздействием на окружающую среду и гибелью людей.

Выходом из сложившейся ситуации представляется, в первую очередь, проведение ремонтно-восстановительных работ на газопроводах и газорегуляторных пунктах. Однако следует отметить, что

проведение подобных работ требует значительное количество как финансовых, так и материальных ресурсов. В этих условиях средством повышения технологической надежности и отказоустойчивости (наряду с инвестициями на проведение реконструкции) становится использование инструментов диагностики и управления надежностью МГ (рис. 2).

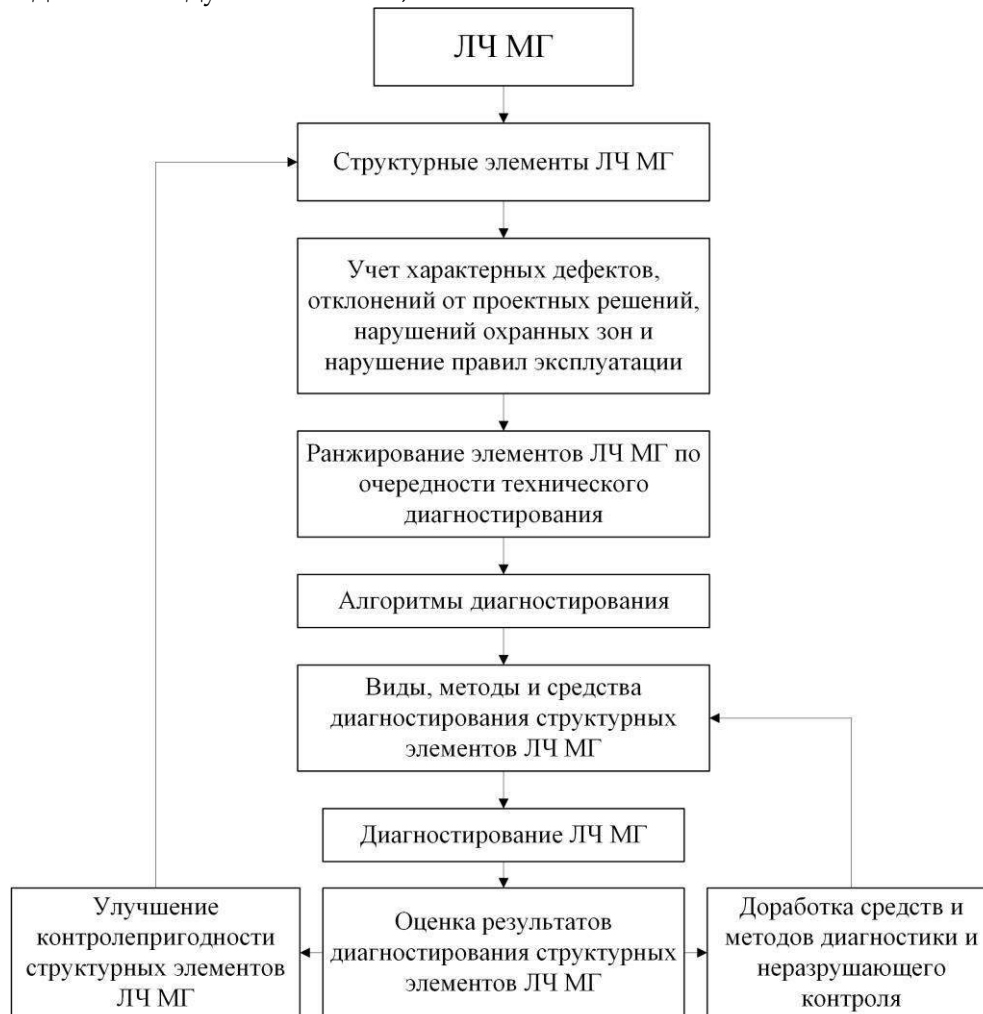


Рис. 2. Задачи технического диагностирования МГ

Управление целостностью конструкции является одной из важнейших задач, возникающих при эксплуатации таких технически сложных объектов, как газопроводы. В связи с этим, серьезное внимание уделяется организации диагностирования с использованием комплекса методов НК и ТД [4, 10].

Внутритрубная диагностика является основным методом диагностического обслуживания ЛЧ МГ, осуществляемая при помощи снарядов-дефектоскопов, вводимых

в трубопроводы через камеры приёма-запуска и движущиеся в них в потоке газа [8]. Следует отметить, что на некоторых участках МГ затруднено применение таких снарядов по причине большого количества неравнопроходной арматуры. Для технического освидетельствования подобных участков используют комплекс методов и средств наземного диагностического обслуживания: радиолокацию с применением георадара, магнитометрию в соответствии с [7],

акустическую эмиссию в соответствии с [6], электрометрию в соответствии с [9], оптические и тепловые методы обнаружения утечек газа и др.

Генезис дефектов металла газопроводов, а также вспомогательного оборудования компрессорных и газораспределительных станций

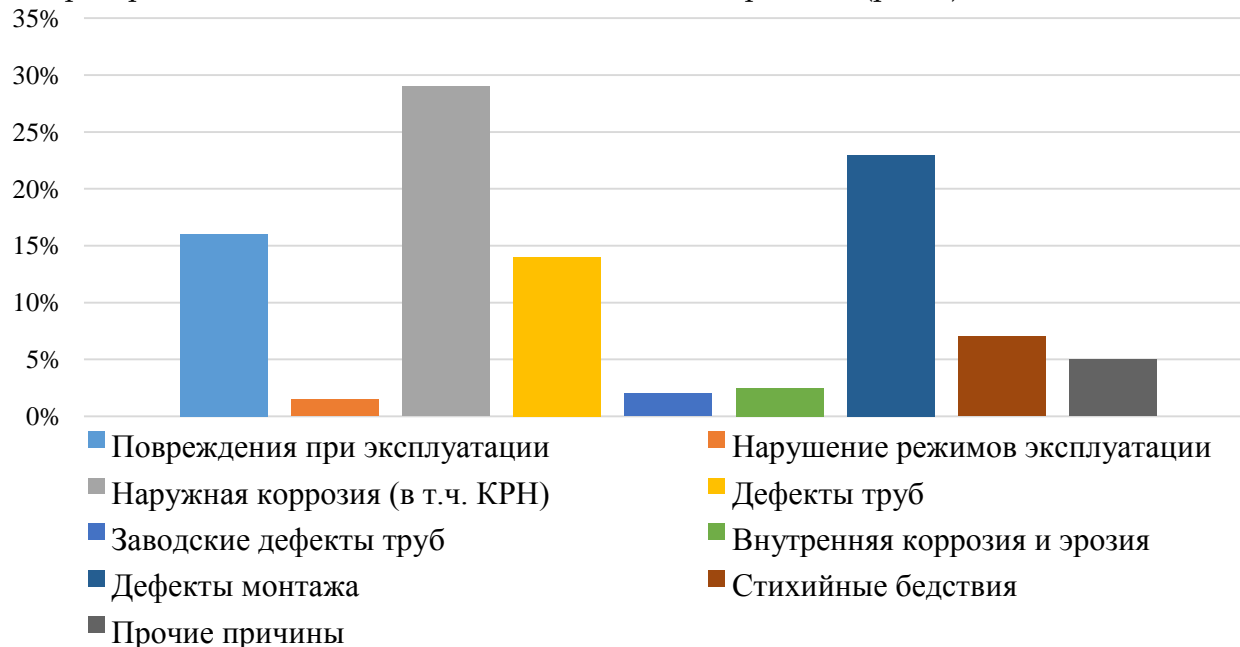


Рис. 3. Основные причины отказов МГ

Как показывает практика, повышение требований к качеству труб большого диаметра и оснащение трубосварочных цехов предприятий современными средствами НК позволили сократить количество производственных дефектов. Однако 14% дефектов, выявляемых при проведении обследований, не могут считаться приемлемыми, так и неприемлем высокий уровень (23%) дефектов монтажа. Статистика обнаруживаемых дефектов эксплуатационного характера свидетельствует об их преимущественно коррозионном характере: 29% составляют дефекты типа наружной коррозии (в том числе и коррозионного растрескивания под напряжением), а также 2,5% – дефекты эрозии и внутренней коррозии. О

рассматривали в своих работах ведущие ученые и специалисты в области безопасности газотранспортных систем. На основе собственного опыта технического диагностирования ОПО авторами составлено процентное соотношение наиболее часто встречающихся дефектов газопроводов (рис. 3).

недостаточном уровне эксплуатации газопроводов свидетельствует 16% повреждений из-за постороннего внешнего вмешательства.

Изучение характера развития дефектов показало – наиболее опасными являются возникающие и развивающиеся в точках концентрации напряжений стресс-коррозионные трещины, приводящие к нарушению целостности металла газопровода (рис. 4), что в конечном счете приводит к утечкам газа. Стресскоррозионные дефекты характеризуются тем, что они, как правило, располагаются колониями. Дефекты коррозии (язвы и вмятины), возникающие в процессе монтажа и эксплуатации, также являются предвестниками утечек газа.



Рис. 4. Раскрывшаяся трещина на сварном соединении газопровода

Повреждения, вызванные стихийными бедствиями (землетрясения, наводнения, оползни т.д.), нередко приводят к аварийным отказам газопроводов. Наконец, не стоит забывать вмешательство человека в процессе хозяйственной деятельности, террористические проявления также являются причиной нарушения штатной работы технологических систем газопроводов.

Как показывает статистика, наибольший вклад в величину аварийности вносят просчеты при проведении проектно-взыскательных работ; нарушения нормативных требований при строительстве, внешние механические воздействия на газопровод при проведении земляных работ, несоответствие поставляемых изделий, материалов и оборудования требованиям проекта строительства, реконструкции и ремонта.

Для обеспечения надежного функционирования объектов газотранспортных систем разрабатываются инструменты управления их целостностью и техническим состоянием. К примеру, ОАО «Газпром» практикует и постоянно совершенствует концепцию безопасности, которая позволяет выявлять и анализировать факторы воздействия на МГ, вести мониторинг возникающих угроз, оценку рисков и проводить анализ эффективности предпринятых действий. В основе этой концепции лежит многолетний опыт применения методов НК и ТД, а также нормативнотехнических документов [2].

Известно, что остаточный ресурс газопроводов во многом зависит от условий их эксплуатации, в особенности от

напряженно-деформированного состояния (НДС) металла труб. В области создания систем измерения напряжений развиваются и совершенствуются ультразвуковые, тензометрические, магнитные (электромагнитные) методы диагностики. В частности, в работе [5] автором отмечается, что всё большее развитие получают методы мониторинга и диагностики объектов транспорта газа с применением авиакосмических средств: лазерная локация обнаружения утечек газа, тепловизионная съемка, аэрофотосъемка. Такого вида обследования направлены на решение задач определения пространственного положения газопровода, выявления участков с непроектной глубиной заложения, контроля проведения несанкционированных работ и т.п. Преимущества авиационного обследования МГ дистанционно-диагностическими методами заключаются в высокой производительности работ и возможности их осуществления без изменения режимов транспортировки газа. В случае, когда не предоставляется возможным проведение внутритрубного диагностирования, необходимо решить задачи их комплексного наземного обследования:

- определить состояние изоляционного покрытия;
- выявить и оценить состояние участков газопровода с повышенными механическими повреждениями;
- оценить эффективность электрохимической защиты и глубину залегания газопровода по всей трассе;
- определить места утечек газа;

- привязать к географическим координатам выявленные дефекты и повреждения газопровода;

- по совокупным показаниям дистанционной диагностики произвести контрольное шурфование газопровода, выполнить его дефектоскопический контроль и контроль физико-механических свойств изоляции и металла

Несмотря на то, что техническое состояние МГ находится на достаточно высоком уровне, задачи обеспечения их надежности и эффективности являются одними из наиболее приоритетных проблем, с каждым годом, приобретающим все большую актуальность. Это связано с продолжающимся старением самих газопроводов, вспомогательного оборудования и повышением уровня их аварийности. Существующая система диагностического обслуживания нуждается в развитии с позиций прогноза технического состояния, разработки решений по управлению целостностью эксплуатируемых МГ и создания более совершенных диагностических систем для перспективных газопроводов (в том числе и Крайнего Севера).

Список литературы:

1. Абросимов В.П. Оценка предрасположенности труб большого диаметра к развитию дефектов КРН // Газовая промышленность. – 2011. №9. С. 25-28.
2. Алимов С.В. Система диагностического обслуживания магистральных газопроводов ОАО «Газпром»: состояние и перспективы // Территория Нефтегаз. – №9. 2009. С. 42 -49.
3. Антипьев В.И и др. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах. – Тюмень: Вектор Бук, 2002. – 432 с.
4. Варламов Д. П. Оценка рисков эксплуатации системы магистральных газопроводов России // Трубопроводный транспорт. – №6. 2011. С. 8-13.
5. Коннов В.В. Оборудование и технология дистанционного видео тепловизионного диагностирования газопроводов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2013, №1. – 10 с.
6. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.
7. РД 102-008-2002. Инструкция по диагностике технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом.
8. РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем.
9. СТО Газпром 2-2.3-310-2009. Организация коррозионных обследований объектов ОАО «Газпром». Основные требования.
10. Чубаев С.А. Формирование ориентированной стратегии капитального ремонта магистральных газопроводов // Газовая промышленность. – 2010. №7. С. 49-52.
11. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Приложение к общественно-деловому журналу «Энергетическая политика» – М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

КАРПАЧЕВ А.А.¹, СТАРОДУБЦЕВ П.А.², БАКЛАНОВ Е.Н.³, ШЕВЧЕНКО А.П.⁴

ДРОБНОЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД

¹д.т.н. профессор, зав. кафедрой математики Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова, г. Владивосток

²д.т.н., профессор, зав. кафедрой физики и общетехнических дисциплин Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова, г. Владивосток

³доцент кафедры судовождения Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета, г. Владивосток

⁴начальник Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова, г. Владивосток

FRACTIONAL INTEGRO-DIFFERENTIATION IN SOLVING EQUATIONS OF ELECTRODYNAMICS OF MATERIAL MEDIA

Karpachev Aleksandr, doctor of technical sciences, professor, head of Department of Mathematics of the Pacific Higher Naval School S.O. Makarov, Vladivostok, Russian Federation

Starodubtcev Pavel, doctor of technical sciences, professor, head of Department of Physics and technical disciplines of the Pacific Higher Naval School S.O. Makarov, Vladivostok, Russian Federation

Baklanov Evgeny, associate professor of navigation department of the Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

Shevchenko Aleksandr, head of the Pacific Higher Naval School S.O. Makarov, Vladivostok, Russian Federation

АННОТАЦИЯ

Рассматривается метод получения диффузионно-волновых уравнений, описывающих свободное электромагнитное поле в диэлектрике с учетом влияния фрактальных свойств движения зарядов в диссипативной среде, и их решение методом дробного дифференцирования.

ABSTRACT

The paper considers methods for producing a diffusion-wave equations describing free electromagnetic field in the dielectric with the influence of the fractal properties of charges in a dissipative medium, and their solution by fractional differentiation

Ключевые слова: дробное интегро-дифференцирование, d -оператор, оператор Капуто, диффузионно-волновое уравнение, функция Грина, фрактальность среды.

Keywords: fractional integro-differentiation, d -operator, Caputo operator, diffusion-wave equation, Green's function, fractal media

Стационарные режимы и полученных на основе представления периодические движения долгое время считались единственно возможными состояниями.

Однако открытия второй половины XX века кардинально изменили наше представление о характере динамических процессов. В настоящее время явно ощущается недостаточность традиционных физических моделей, потому что полное описание процессов современной обработки сигналов и полей невозможно с помощью формул классической математики,

и полученных на основе представления периодических движений в пространствах целочисленных мер и гладких функций.

В конце двадцатого века в связи с созданием Б. Мандельбротом общей концепции фракталов [1] возникла мысль о применении их в области радиофизики и радиолокации. Использование идей масштабной инвариантности – «скейлинга» и разделов современного функционального анализа, которые связаны с теорией множеств, теорией дробной размерности, общей топологией, геометрической теорией

меры и теорией динамических систем, открывает большие потенциальные возможности и новые перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях, таких как нелинейная гидроакустика.

В [2] представлен один из первых способов введения дробного интегро-дифференцирования в основные уравнения

$$D_{st}^\alpha y(t) = \text{sign}^n(t-s) \frac{d^n}{dt^n} D_{st}^{\alpha-n} y(t), \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0,$$

$$D_{st}^\alpha y(t) = \frac{\text{sign}(t-s)}{\tilde{A}(-\alpha)} \int_s^t \frac{y(\theta)}{|t-\theta|^{\alpha+1}} d\theta, \quad \tilde{A}(x) - \tilde{a} \tilde{i} \tilde{a} - \hat{o} \acute{o} \acute{i} \hat{e} \ddot{o} \acute{y} \acute{Y} \acute{e} \acute{e} \acute{a} \acute{d} \acute{a}, \quad \alpha < 0,$$

$$D_{st}^\alpha y(t) = 0, \quad \alpha = 0.$$

Оператор Капуто (регуляризованная дробная производная) определяется с помощью равенства

$$\partial_{0r}^\alpha y(t) = \text{sign}^n(t-s) D_{st}^{\alpha-n} \frac{d^n}{dt^n} y(t), \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0$$

$$\partial_{0r}^\alpha y(t) = D_{st}^\alpha y(t) - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{y^{(k)}(s)}{\tilde{A}(k+1-\alpha)}, \quad n-1 < \alpha \leq n, \quad n \in N, \quad \alpha > 0. \quad (1)$$

Если выполняется равенство $y^{(k)}(s)=0$, то операторы Римана-Лиувилля и Капуто тождественны. При целочисленном значении параметра α эти операторы также совпадают между собой и совпадают с обычными производными целого порядка.

В то же время в [4] вводится понятие d -оператора порядка $s \geq 0$, действующим над множеством степенных функций x^q , для которых выполняются условия: $s, q, x \in R, |s|, |q| = \text{const} < \infty$:

$$d^{-s} x : x^q = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(q+1-s)} x^{q-s}, \quad q \notin N^-, \quad q-s \notin N^-. \quad (2)$$

Очевидно, что данный оператор также является оператором дробного интегро-дифференцирования.

В [3] получена система уравнений Максвелла в дробных производных с использованием оператора Капуто. Заменим в данных уравнениях оператор Капуто на d -оператор порядка $s \geq 0$:

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{B}; \quad \text{div } \mathbf{B} = 0; \quad (3)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{D}; \quad \text{div } \mathbf{D} = \rho; \quad (4)$$

электродинамики материальных сред. В этой работе при дробном исчислении используются интегро-дифференциальные операторы Римана-Лиувилля и Капуто [2]. Оператор дробного интегро-дифференцирования Римана-Лиувилля порядка $\alpha \in R$ с началом в точке s функции $y(t)$ представляется в следующем виде:

Связь между операторами Римана-Лиувилля и Капуто дается соотношением

и материальные уравнения среды:

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H}; \quad \mathbf{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

где \mathbf{E} - напряженность электрического поля, \hat{A}/\hat{i} ;

\mathbf{B} - магнитная индукция, $\hat{A}\hat{a}/\hat{i}^2 (\hat{e}\hat{a} \cdot \hat{n}^{-2} \cdot \hat{A})$;

\mathbf{H} - напряженность магнитного поля, \hat{A}/\hat{i} ;

\mathbf{D} - электрическая индукция, $\hat{E}\hat{e}/\hat{i}^2$;

\mathbf{j} - плотность тока, $\hat{E}\hat{e}/\hat{i}^2$;

ρ - плотность тока проводимости, $\hat{E}\hat{e}/\hat{i}^2$;

τ - калибровочный коэффициент для дробной производной;

ε_0 - электрическая постоянная, \hat{O}/\hat{i} ;

ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды;

μ_0 - магнитная постоянная, $\hat{A}\hat{i}/\hat{i}$;

μ - относительная магнитная проницаемость среды.

Векторный потенциал \mathbf{A} вводится стандартно: $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$.

Подстановка данного выражения в уравнение (3), приводит к формулам:

$$rot \mathbf{E} = -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : (rot \mathbf{A}) = -\frac{1}{\tau} rot d^{-s} t : \mathbf{A} = rot \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} \right); \quad div (rot \mathbf{A}) = 0$$

Отсюда следует, что

$$rot \left(\mathbf{E} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} \right) = 0.$$

Так как ротор от градиента любой скалярной функции φ равен нулю, то выражение в скобках равно градиенту этой функции, т.е.

$$\begin{aligned} \left(\mathbf{E} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} \right) &= \nabla \varphi, \text{ или} && \text{или} \\ \mathbf{E} &= -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi, \\ rot \left(\frac{rot \mathbf{A}}{\mu\mu_0} \right) &= \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : \left(\varepsilon\varepsilon_0 \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) \right); \quad div \left(\varepsilon\varepsilon_0 \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) \right) = \rho \end{aligned}$$

Выполняются следующие преобразования данных уравнений:

$$\begin{aligned} rot rot \mathbf{A} &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \nabla \varphi = \\ &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \nabla \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right), \end{aligned} \tag{5}$$

$$div \left(-\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \mathbf{A} + \nabla \varphi \right) = -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : (div) \mathbf{A} + div \nabla \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}. \tag{6}$$

Далее, не ограничивая общности, принимается условие калибровочной инвариантности:

$$div \mathbf{A} = \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right).$$

Использование данного условия для исключения скалярного потенциала φ в уравнении (5) и, наоборот, для исключения векторного потенциала \mathbf{A} в уравнении (6) позволяет получить следующие уравнения:

$$\begin{aligned} rot rot \mathbf{A} &= \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \nabla (div \mathbf{A}), \\ -\frac{1}{\tau} d^{-s} t : \left(\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau} d^{-s} t : \varphi \right) + div \nabla \varphi &= \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0} \\ \text{, или} \quad -\frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \varphi + div \nabla \varphi &= \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}. \end{aligned}$$

Из теории поля известно, что верны следующие выражения:

где φ - скалярный потенциал. Далее в уравнениях (4) векторы \mathbf{H} и \mathbf{D} заменяются на их выражения через векторы \mathbf{B} и \mathbf{E} . В свою очередь, векторы \mathbf{B} и \mathbf{E} заменяются на векторный и скалярный потенциалы:

$$rot \left(\frac{\mathbf{B}}{\mu\mu_0} \right) = \mathbf{j} + \frac{1}{\tau} d^{-s} t : (\varepsilon\varepsilon_0 \mathbf{E}); \quad div (\varepsilon\varepsilon_0 \mathbf{E}) = \rho$$

$$rot rot \mathbf{A} = \nabla (div) \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A}, \text{ и} \\ div \nabla \varphi = \Delta \varphi.$$

С учетом первого выражения определяется уравнение для векторного потенциала:

$$\nabla (div \mathbf{A}) - \Delta \mathbf{A} = \mu\mu_0 \mathbf{j} - \frac{\mu\mu_0 \varepsilon\varepsilon_0}{\tau^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} + \nabla (div \mathbf{A})$$

, или:

$$\Delta \mathbf{A} - \frac{\mu\varepsilon}{(c\tau)^2} d^{-2s} t : \mathbf{A} = -\mu\mu_0 \mathbf{j}. \tag{7}$$

А с учетом второго выражения получают уравнение для скалярного потенциала:

$$\Delta \varphi - \frac{\mu\varepsilon}{(c\tau)^2} d^{-2s} t : \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}. \tag{8}$$

где $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = 292\,792\,458 \text{ м/с}$ (скорость света в вакууме).

Уравнения (7) и (8) представляют собой уравнения с изменяющимся типом: при $s=1$ – гиперболический тип; при $s=1/2$ – параболический тип. Такие уравнения в литературе называют диффузионно-волновыми уравнениями. Их решение можно получить методом функции Грина.

Анализируются свойства электромагнитного поля в диэлектрике с постоянными значениями ε и μ , исходя из диффузионно-волнового уравнения. Для этого записывается одномерное уравнение дробного порядка

$$d^{-2s} t : u(x,t) - \frac{(c\tau)^2}{\mu\varepsilon} \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = - \frac{(c\tau)^2}{\mu\varepsilon} \cdot \frac{\rho(x,t)}{\varepsilon\varepsilon_0} \quad (9)$$

где под функцией $u(x,t)$ понимается \vec{A} или φ . Уравнение (9) – линейное, и его частное решение можно представить в виде $u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot z(t)$,

где $z(t)$ – неизвестная функция, u_0 – комплексная амплитуда, k – компонент волнового вектора в направлении x . Подставляя это частное решение в (9), получаем уравнение

$$d^{-2s} : z(t) + \omega^2 z(t) = - \frac{\omega^2}{k^2} \cdot \frac{\rho(x,t)}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{u_0 \exp(ikx)}, \quad (10)$$

где $\omega = \frac{\hbar k \tau}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ – безразмерная частота.

Решение уравнения (10) ищется обычным способом в виде степенного ряда [3]. Частным решением уравнения (10) является функция:

$$z(t) = E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}),$$

где $E_{2s}(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\Gamma(2s \cdot n + 1)}$ – функция

Миттага-Леффлера.

Дробное дифференцирование порядка $2s$ функции $z(t)$ приводит к выражению:

$$\begin{aligned} d^{-2s} : z(t) &= d^{-2s} : E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}) = d^{-2s} : \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2 t^{2s})^n}{\Gamma(2sn + 1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^n}{\Gamma(2sn + 1)} d^{-2s} : t^{2sn} = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^n}{\Gamma(2sn + 1)} \frac{\Gamma(2sn + 1) \cdot t^{2sn - 2s}}{\Gamma(2sn + 1 - 2s)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2)^1 (-\omega^2)^{n-1} t^{2s(n-1)}}{\Gamma(2s(n-1) + 1)} = \frac{t^{-2s}}{\Gamma(-2s + 1)} - \omega^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\omega^2 t^{2s})^n}{\Gamma(2sn + 1)} = \\ &= \frac{t^{-2s}}{\Gamma(-2s + 1)} - \omega^2 E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}) = \frac{t^{-2s}}{(-2s)\Gamma(-2s)} - \omega^2 z(t). \end{aligned}$$

После подстановки результата дробного дифференцирования в уравнение (10) получаем:

$$\frac{t^{-2s}}{2s\Gamma(-2s)} = \frac{\omega^2}{k^2} \cdot \frac{\rho(x,t)}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{u_0 \exp(ikx)}.$$

Отсюда определяется выражение для плотности тока проводимости:

$$\rho(x,t) = u_0 \exp(ikx) \frac{t^{-2s}}{2s\Gamma(-2s)} \frac{k^2 \varepsilon\varepsilon_0}{\omega^2}.$$

Таким образом, определяется решение

$$u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_{2s}(-\omega^2 t^{2s}).$$

Отметим, что в нашем случае дробное интегро-дифференцирование и, соответственно, феноменологический параметр s , учитывают влияние фрактальных свойств движения зарядов в диссипативной среде на создаваемое

электромагнитное поле. При уменьшении s происходит затухание электромагнитных волн, причем при медленном диффузионном блуждании ($s < 1/2$) затухание имеет степенную асимптотику $E_{2s}(-t^2) \propto t^{2s} / \Gamma(-2s + 1)$, характерную для многих фрактальных систем.

На рисунке 1 в качестве примера показаны графики функции $E_{2s}(-t^{2s})$ для различных значений параметра $2s$. Если параметр $2s$ находится в интервале от 1 до 2, то по переменной t будем иметь периодическую функцию с частотой ω . Если параметр $2s$ находится в интервале от 0 до 1, то функция становится монотонно убывающей. Нетрудно заметить, что параметр $2s$ определяет скорость убывания функции.

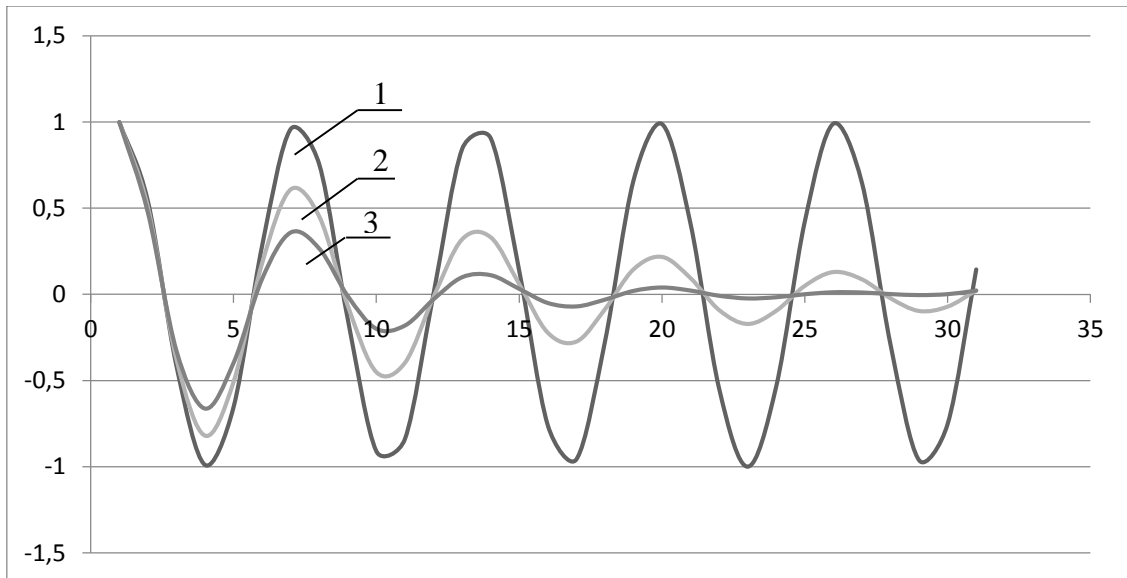


Рис. 1. Графики функции Миттага-Леффлера $E_{2s}(-t^{2s})$ при различных значениях параметра $2s$: 1) $2s=2$; 2) $2s=1,9$; 3) $2s=1,8$.

Рассмотрим предельные случаи. Пусть $2s=2$ (гиперболический случай). Тогда функция Миттага-Леффлера преобразуется в гиперболический косинус:

$$E_2(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\tilde{A}(2n+1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{y})^{2n}}{2n!} = ch(\sqrt{y}).$$

Следовательно, решение $u(x,t)$ будет иметь вид:

$$u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_2(-\omega^2 t^2) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot ch(\sqrt{-\omega^2 t^2}) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot ch(i\omega t)$$

Решение этого вида определяет плоскую монохроматическую волну, являющуюся периодической функцией по обоим переменным.

$$E_1(y) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\tilde{A}(n+1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{n!} = \exp(y).$$

Следовательно, решение $u(x,t)$ будет иметь вид:

При $2s=1$ (параболический случай) функция Миттага-Леффлера преобразуется в экспоненту:

$$u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot E_1(-\omega^2 t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \exp(-\omega^2 t) = u_0 \cdot \exp(ikx - \omega^2 t)$$

Данное решение является периодическим лишь по переменной x . Его также можно понимать как плоскую волну, но с убывающей по времени амплитудой.

в виде: $u(x,t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot z(t)$, где $z(t)$ – неизвестная функция, u_0 – комплексная амплитуда, k – компонент волнового вектора в направлении x . Подставляя это частное решение в (11), получаем уравнение

Рассмотрим теперь свойства свободного электромагнитного поля в диэлектрике с постоянными значениями ϵ и μ , исходя из приведенного выше диффузионно-волнового уравнения. Для этого записывается одномерное однородное уравнение дробного порядка

$$d^{-2s} : z(t) + \omega^2 z(t) = 0, \quad (12)$$

где $\omega = \frac{\hbar k \tau}{\sqrt{\mu \epsilon}}$ – безразмерная частота.

$$d^{-2s} t : u(x,t) - \frac{(c\tau)^2}{\mu \epsilon} \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) – линейное, и его частное решение также можно представить в

Решение уравнения (12) также ищется в виде степенного ряда [3]. В качестве частного решения этого уравнения выберем дробный полином порядка $2s$ степени m , как определено в [4]:

$$P_{2s/m}(t) = \sum_{n=0}^m a_n \cdot t^{2s(n+1)-1}, \quad a_n = \text{const}, \quad (n = 0, 1, 2, \dots, m)$$

При взятии дробной производной порядка $2s$ от данного дробного полинома получаем:

$$\begin{aligned} d^{-2s} t : P_{2s/m}(t) &= d^{-2s} t : \sum_{n=0}^m a_n \cdot t^{2s(n+1)-1} = \sum_{n=0}^m a_n \cdot d^{-2s} : t^{2s(n+1)-1} = \sum_{n=0}^m a_n \frac{\tilde{A}(2s(n+1))}{\tilde{A}(2sn)} t^{2sn-1} = \\ &= a_0 \frac{\tilde{A}(1)}{\tilde{A}(0)} t^{-1} + \sum_{n=1}^m a_n \frac{\tilde{A}(2s(n+1))}{\tilde{A}(2sn)} t^{2sn-1} = 0 + \sum_{n=0}^{m-1} a_{n+1} \frac{\tilde{A}(2s(n+2))}{\tilde{A}(2s(n+1))} t^{2s(n+1)-1} \end{aligned}$$

Здесь $\tilde{A}(0) = \infty$, поэтому первый член ряда равен нулю. Выбираем полином бесконечной степени, т.е. $m = \infty$, и потребуем выполнения условия:

$$a_n = a_{n+1} \frac{\tilde{A}(2s(n+2))}{\tilde{A}(2s(n+1))}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Отсюда следуют равенства:

$$d^{-2s} t : P_{2s/\infty}(t) = P_{2s/\infty}(t), \quad a_n = \frac{1}{\tilde{A}(2s(n+1))}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Теперь определяем функцию:

$$K_{2s}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^{2s(n+1)-1}}{\tilde{A}(2s(n+1))} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2sn-1}}{\tilde{A}(2sn)}$$

Нетрудно убедиться в том, что для данной функции верны следующие выражения: $d^{-2s} t : K_{2s}(t) = K_{2s}(t)$ и $d^{-2s} t : K_{2s}(\theta t) = \theta^{2s} K_{2s}(\theta t)$, где θ - константа.

В качестве частного решения уравнения (12) выбираем функцию

$$z(t) = K_{2s}(\theta t),$$

при этом значение константы θ определяется из уравнения:

$$\theta^{2s} K_{2s}(\theta t) + \omega^2 K_{2s}(\theta t) = 0.$$

Отсюда получаем, что $\theta^{2s} = -\omega^2 = (i\omega)^2$, или $\theta = (i\omega)^{1/s}$.

Таким образом, определяется решение $u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_{2s}((i\omega)^{1/s} t)$.

На рисунке 2 в качестве примера показаны графики функции $k_{2s}(\omega, t) = (i\omega)^{1/s} K_{2s}((i\omega)^{1/s} t)$ для различных значений параметра $2s$ при $\omega = 1$.

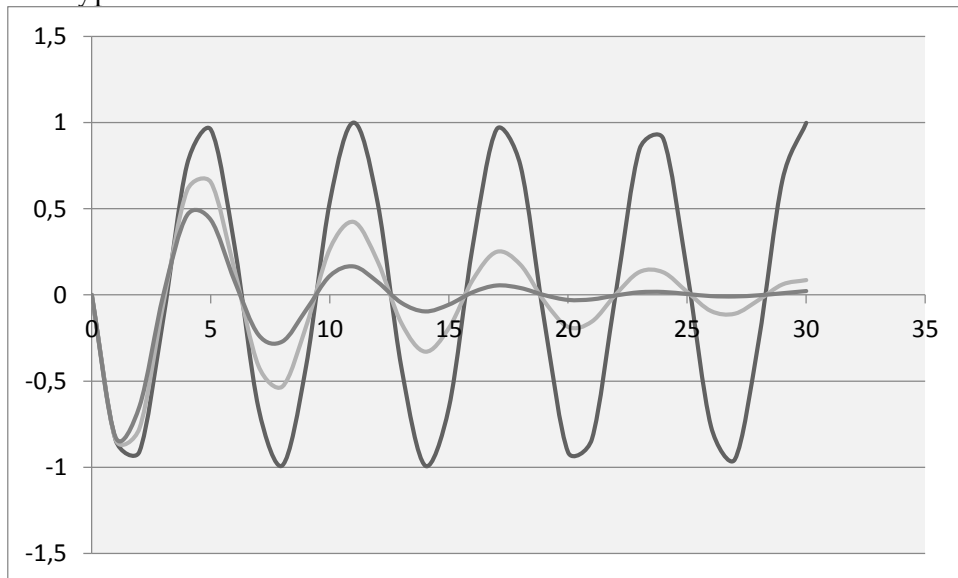


Рис. 2. Графики функции $k_{2s}(\omega, t)$ при различных значениях параметра $2s$: 1) $2s=2$; 2) $2s=1,9$; 3) $2s=1,8$.

Отметим, что в нашем случае функция $K_{2s}(t)$ при предельном значении параметра $2s=2$ (гиперболический случай) преобразуется в гиперболический синус:

$$K_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2n-1}}{\tilde{A}(2n)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{2n-1}}{(2n-1)!} = sh(t).$$

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_2((i\omega)^{1/s} t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot sh((i\omega)^{1/s} t)$$

Решение этого вида также определяет плоскую монохроматическую волну.

В параболическом случае $2s=1$ и функция $K_{2s}(t)$ преобразуется в экспоненту:

$$u(x, t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot K_1((i\omega)^{1/s} t) = u_0 \cdot \exp(ikx) \cdot \exp((i\omega)^{1/s} t)$$

В качестве практических выводов необходимо отметить следующее: значение параметра s определяет не только фрактальные свойства движения зарядов, но и, в некотором смысле, характеризует фрактальность исследуемой диссипативной среды.

Список литературы:

1. П. А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы в радиотехнике и радиоэлектронике: современное развитие / Статья.-Москва, журнал радиоэлектроники №1, 2010.-с. 1-98.
2. Потапов А.А., Черных В.А. Дробное исчисление А.В. Летникова, теория

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид:

$$K_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{n-1}}{\tilde{A}(n)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t^{n-1}}{(n-1)!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^n}{n!} = \exp(t).$$

Следовательно, решение $u(x, t)$ будет иметь вид:

фракталов и скейлинг / Под ред. А.А. Потапова.- М.: Физматлит, 2009.- 820 с.

3. Потапов А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы как основа новых методов обработки информации и конструирования фрактальных радиосистем // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2008. № 5(77). С. 3 - 19.

4. Чуриков В.А. Дополнительные главы анализа. Дробное интегрирование и дробное дифференцирование на основе d -оператора: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 118 с.

ЮШКОВ А.В.¹, ДЬЯЧКОВ В.В.², ЗАРИПОВА Ю.А.³

НОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ И СТРУКТУРАХ МИКРОМИРА

¹доктор физико-математических наук, профессор
Казахского национального университета им. аль-Фараби,
Алматы, Республика Казахстан

²научный сотрудник Научно-исследовательского института экспериментальной и теоретической физики

Алматы, Республика Казахстан

³PhD докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби

Алматы, Республика Казахстан

NEW PATTERNS IN NUCLEAR PHYSICS AND THE STRUCTURE OF THE MICROWORLD

Yushkov Alexander,

al-Faraby Kazakh National University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

Dyachkov Vyacheslav,

Science Research Institute of Experimental and Theoretical Physics

Almaty, Republic of Kazakhstan

Zaripova Yuliya

al-Faraby Kazakh National University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

АННОТАЦИЯ

Авторами настоящей статьи за последние годы экспериментально обнаружен ряд новых ядерно-физических эффектов, явлений и закономерностей, результаты которых, с неизбежностью приводят к пересмотру некоторых устоявшихся взглядов и наводят на мысли об неевклидовом эллиптическом ядерном и околоядерном пространстве с геодезической в форме эллипса. Целью статьи является систематизация наших новых экспериментальных фактов в русле парадигмы новой более сложной, но и гармоничной ядерной физики, контуры которой все явственнее выступают также и из новых пластов мировой литературы.

ABSTRACT

The authors of this article in last years found a few of new experimental nuclear physics effects and phenomena, the results of which will inevitably lead to a revision of some established views and suggests a non-Euclidean elliptic nuclear and perinuclear space with a geodesic in the form of an ellipse. The aim of the article is to systematize our new experimental facts in line with the new paradigm of a more complex, but harmonious and nuclear physics, the outlines of which appear ever more clearly, and also from the new formations of world literature.

Ключевые слова: мультикластерная структура атомных ядер; риманова кривизна и слоистость ядерного и околоядерного пространства.

Keywords: multi-cluster structure of atomic nuclei; Riemann curvature and stratification of nuclear and perinuclear space.

Со всей очевидностью ядерная физика в наши дни переживает период перехода на новый, более совершенный и адекватный, виток своего развития [3-4, 6-7]. Приходится пересматривать старую парадигму и выстраивать новую, как по составу ядер, их структуре, так и по природе и механизмам, действующих внутриядерных сил. Так, протонно-нейтронное строение ядер изменяется на α -кластерное, мультикластерное и ионно-кластерное (для тяжелых и сверхтяжелых ядер). То есть старый гамильтониан $H_{\text{яд}} = H_{\text{pp}} + H_{\text{np}} + H_{\text{nn}}$, необходимо усложнить мультикластерными членами. Основное уравнение движения в ядре $\hat{H}\Psi = E\Psi$, в случае нового взгляда на пространство в микромире как неевклидово, может быть подвергнуто пересмотру и уточнению.

Форма радиальной зависимости однородного ядерного потенциала (в простейшем случае это прямоугольная яма, а в часто употребляемых случаях – потенциал Вудса-Саксона) начинает изменяться на сложные «зернистые», двухцентровые и многоцентровые функции. Все чаще рассматриваются модели ядра, отходящие от ферми-газовой структуры или жидко-капельной в пользу квазитвердотельных (метод К-гармоник, вариаций моделей со сверхтекучестью, квазикристаллические). При этом один из главных кристаллографических принципов, – плотные шаровые упаковки, неизбежно

приводит к построению слоистой плотноупакованной ядерной материи.

И, наконец, принципы плотной упаковки слоистой ядерной материи и отсутствие излучений при движении электрических (протоны и мультикластеры) и магнитных (нейтроны) зарядов наводят на мысли об неевклидовом эллиптическом ядерном и околоядерном пространстве с геодезической в форме эллипса. Такой переход естественен в связи с эйнштейновской концепцией о том, что материя сама формирует пространство и время, которые являются ее неотъемлемыми атрибутами. И это гармонизирует всю физическую картину мира, так как криволинейность пространства вокруг сильно тяготеющих масс, например, Солнца в наши дни является неопровержимым экспериментальным фактом. Авторами настоящей статьи за последние годы экспериментально обнаружен целый ряд новых ядерно-физических эффектов, явлений и закономерностей, подробно описанных ниже, с неизбежностью проводящих к пересмотру некоторых устоявшихся взглядов.

Из оптимальной подгонки теории к экспериментальным угловым распределениям дифференциальных сечений упругого рассеяния обнаруживаются два новых эффекта, которые видны из рисунка 1.

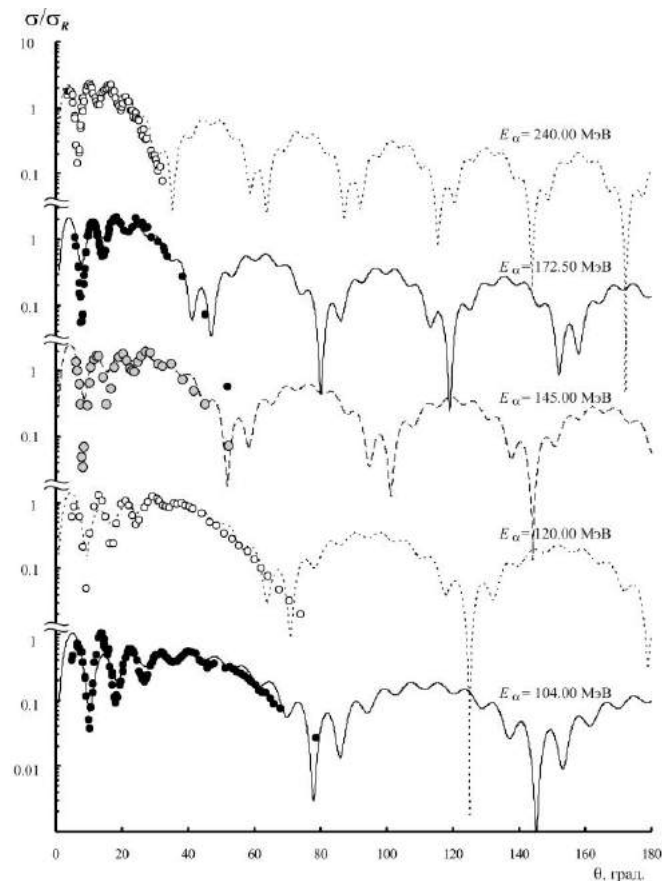


Рисунок 1. Угловые распределения упругого дифракционного рассеяния $^{24}\text{Mg}(\alpha,\alpha)^{24}\text{Mg}$ при различных энергиях альфа-частиц

1) экспериментальное угловое распределение раскладывается на две дифракционных моды – первая с малым периодом осцилляций на ядре как целом; вторая – на альфа-кластерных подструктурах (большие периоды осцилляций); 2) впервые объяснен подъем сечений выше резерфордского для легких ядер за счет аддитивности альфа-частичной моды упругого рассеяния (рассеяние альфа-частиц на альфа-частичных кластерах) [1, 2].

Авторами был разработан прямой экспериментальный метод обнаружения подобных внутриядерных мультикластеров на основе уникальных кинематических особенностей упругого рассеяния тяжелой ускоренной частицы на легком ядре-мишени. Указанная уникальность состоит в том, что угловое распределение упруго рассеянной “тяжелой” α -частицы в л.с.к.

упирается в критический угол $\theta_{\text{крит}}$: $\sin \theta_{\text{крит}} = a/A$, где a – масса налетающей (ускоренной) α -частицы; A – масса ядра-мишени, дающий своеобразную «кинематическую петлю» (клатрек).

На рисунке 2 представлены такие кинематические петли в виде кинематики упругого рассеяния налетающих α -частиц с энергией $E_\alpha=29,0$ МэВ на матричном ядре ^{24}Mg . Видно, что кинематическая петля для $^1\text{H}(\alpha,\alpha)^1\text{H}$ упирается в $\theta_{\text{крит}}=14,5^\circ$; петля реакции $^4\text{He}(\alpha,\alpha)^4\text{He}$ упирается в угол 90° ; а кривая для матричного ядра $^{24}\text{Mg}(\alpha,\alpha)^{24}\text{Mg}$ нормально распространяется до угла 180° . Ясно, что именно клатреки являются прямым доказательством наличия в ядре ^{24}Mg всех искомым кластеров, так как в ядре ^{24}Mg с однородным распределением ядерной материи никаких клатреков быть не может.

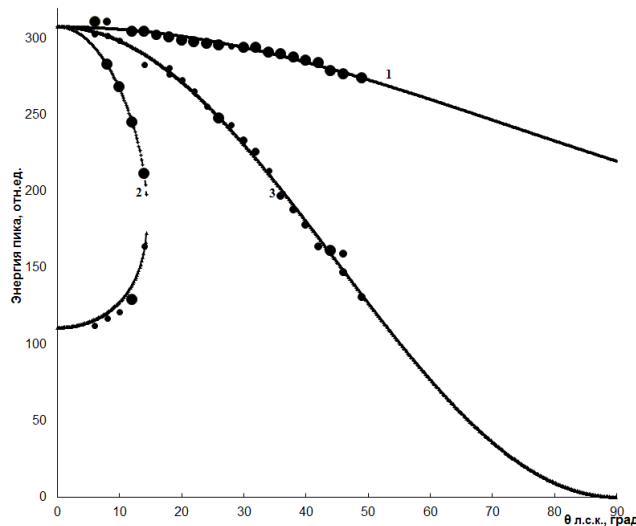


Рисунок 2. Прямое обнаружение внутриядерных кластеров при бомбардировке ядра ^{24}Mg альфа-частицами с энергией 29 МэВ при помощи клатреков: 1 – реакции $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha)^{24}\text{Mg}$ (уровень 0^+); 2 – $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha)^{20}\text{Ne}$; 3 – $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha)^{20}\text{Ne}$.

Вторым экспериментальным доказательством мультикластерной структуры ядер явилось новая найденная закономерность изменения формы, так называемых, $4n$ -ядер (массовое число

которых кратно 4) от увеличения нуклонов в ядре (рисунок 3). Такие резкие изменения формы от вытянутого сфероида к сплюснутому и обратно, возможны только при альфа-кластерном строении этих ядер.

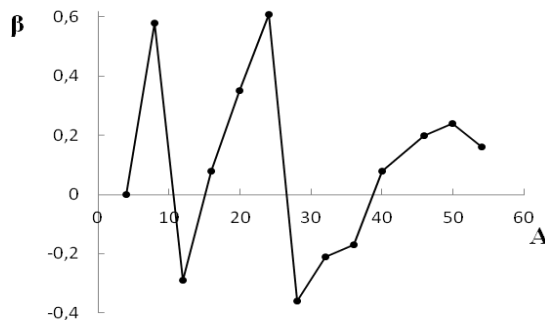


Рисунок 3. Знакопеременная закономерность квадрупольной ядерной деформации легких ядер с массой, кратной четырем нуклонам, в зависимости от массового числа A

Являются ли альфа-частицы «кирпичиками» ядерной материи наряду с нуклонами? Для ответа на этот вопрос рассмотрим зависимость плотности ядерной материи от массового числа A (рисунок 4). Из рисунка 4 видно, что ядерная плотность

альфа-частиц (отмечена черной точкой) примерно в 9 раз превышает нормальную плотность $\rho_0 = 0,147$ Фм $^{-3}$, таким образом, альфа-частицы действительно являются кирпичиками атомных ядер.

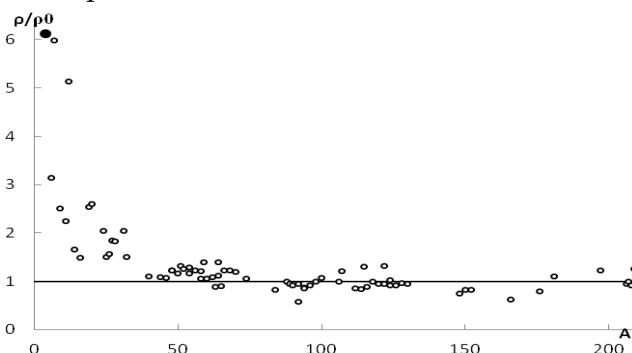
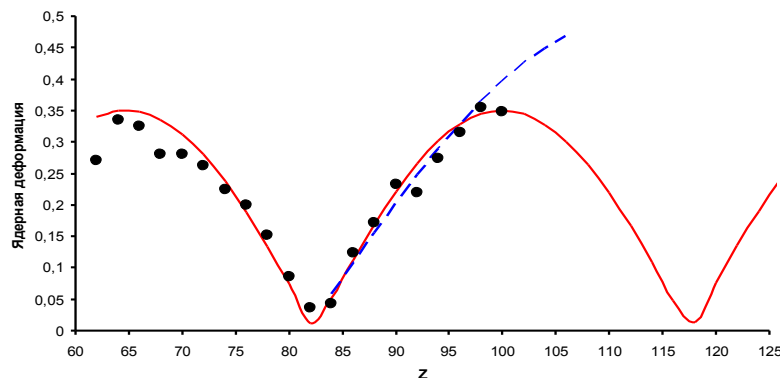


Рисунок 4. Функции ρ/ρ_0 как доказательство, что p и α супертвердые [6-7]

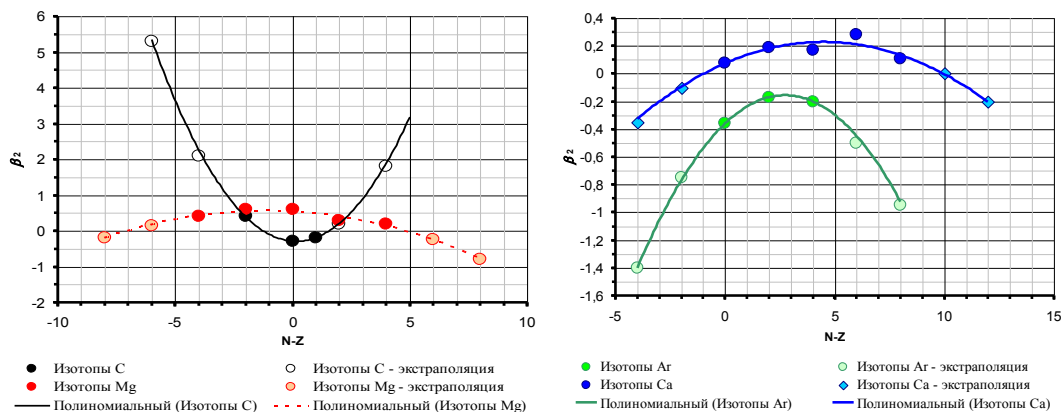
Подтверждается ли, отмеченная выше, осциллирующая закономерность смены знаков ядерной деформации по всему массиву существующих ядер? На рисунке 5 этот факт подтверждается, например, для тяжелых и сверхтяжелых ядер (сплошная линия). Но в отличие от рисунка 3 такая осциллирующая закономерность связана с не альфа-кластерным строением, а с существованием ядерных оболочек с

магическими Z и N . На рисунке 5, исходя из наполняемости ядерных оболочек нуклонами, может образоваться «остров стабильности» [8] (сплошная кривая). Рисунок 5 интересен также с точки зрения понимания конечности периодической таблицы химических элементов из-за катастрофического развития несферичности тяжелых ядер (пунктирная).



Точки – эксперимент; сплошная – осциллирующая экстраполяция; пунктир – линейная экстраполяция в область сверхтяжелых ядер.

Рисунок 5. Ядерная деформация для четно-четных ядер тяжелых ядер



а) – ядер для изотопов углерода и магния б) – изотопов аргона и кальция
Рисунок 6. Экстраполяция систематизированных экспериментальных данных по ядерной деформации в сторону экзотических нейтронодефицитных и нейтроноизбыточных

С позиции последнего утверждения, интересно рассмотреть и ограниченность стабильных ядер в сторону, как дефицита, так и избытка нейтронов в изотопических рядах (рисунок 6).

И в данном случае мы видим катастрофическое развитие несферичности, являющаяся первичной причиной радиоактивности, то есть развала таких экзотических ядер. Этому развалу (радиоактивности), скорее всего,

фундаментальной причиной служит конечный радиус действия ядерных сил (в отличие от дальнодействующих кулоновских сил).

Ряд экспериментов по дифракционному ядерному рассеянию привел авторов к неожиданному и достаточно фундаментальному выводу о римановой кривизне и слоистости ядерного и околоядерного пространства. В качестве примера, на рисунке 7 дана связь магнитных

моментов ядер в зависимости от их зарядовых радиусов (R_z).

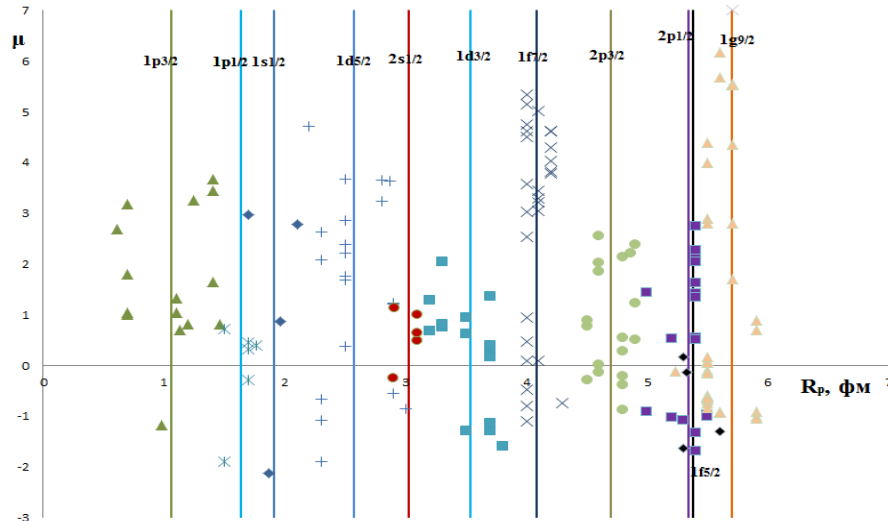


Рисунок 7. $\mu = \mu(R)$ по ядерным оболочкам

В обоих случаях, как Z пространство, так и N пространство явственно распадается на слои. В совокупности с замкнутыми орбитами движения нейтронов, протонов и кластеров автоматически приводит к неизбежному выводу неевклидовости ядерного и околоядерного пространства. Таким образом, реальной метрикой пространства является риманова метрика с геодезической в форме эллипса. Об этом же говорят известные факты отсутствия излучения из ядер, находящихся в равновесном состоянии, несмотря на то, что нуклоны и кластеры движутся по криволинейным траекториям. Для сравнения укажем, что в случае макроскопической криволинейности траектории электронов в синхротронах возникает мощное рентгеновское синхротронное излучений.

В обрисованную выше новую картину ядерных свойств с неизбежностью должны вписываться и другие структуры микромира. С указанных позиций нами рассмотрены две характеристики: 1) топология структур микромира; 2) энергия связи этих структур. Имеются ввиду такие структуры как молекулы, атомы, ядра, нуклоны и другие элементарные частицы.

Реальный одиночный нуклон имеет плотный kern, который окружен облаком из нескольких пионов. Оценим их число в пионном облаке. Для этого вычислим полную энергию связи всех пионов в нуклоне. С этой целью, поскольку масса керна нуклона еще не измерена, построим зависимость энергий связи нескольких близких структур материи в зависимости от их размеров (таб. 1) и экстраполируем в область размеров нуклона и его керна [5].

Таблица 1

Энергии связи различных структур материи на базе протона

Структура	Вид структуры материи	Геометрический фактор	Характерный радиус структуры, см	Энергия связи, эВ
1	Молекула водорода	Симплектический	$1,32 \cdot 10^{-8}$	4,75
2	Атом водорода	Планетарный	$0,46 \cdot 10^{-8}$	13,6
3	Ядро (дейтрон)	Симплектический	$1,76 \cdot 10^{-13}$	$2,23 \cdot 10^6$
4	Протон	Планетарный	$0,8 \cdot 10^{-13}$	$5,57 \cdot 10^6$
5	Партон (экстраполяция)	Симплектический	$\sim 10^{-15}$	$3,5 \cdot 10^{12}$
6	Новая эл. частица «квазисолнце»	Планетарный	$\sim 10^{-40}$	$1,9 \cdot 10^{38}$
7	Новая эл. частица «квазигалактика»	Симплектический	$\sim 4,5 \cdot 10^{-50}$	$1,7 \cdot 10^{49}$
8	Новая эл. частица «квазиметагалактика»	Планетарный	$\sim 10^{-59}$	$3,3 \cdot 10^{60}$

В физике элементарных частиц давно существует загадка [6]: какие функции выполняют три «электрона»: легкий электрон e^- (это настоящий электрон, выполняющий функцию построения атомов химических элементов); среднетяжелый «электрон» μ^- (заряд равен заряду e^- , но масса примерно в 200 раз больше); тяжелый «электрон» τ^- (заряд равен заряду e^- , но масса примерно в 2000 раз больше). Следуя планетарно-симплектическому закону (таб. 1), можно предположить [6], что функции среднетяжелого «электрона» μ^- - участвовать в планетарном построении нуклона. По-видимому, функции и тяжелого «электрона» τ^- та же, то есть участие в построении планетарной структуры еще не открытой элементарной частицы.

В заключении уместно сделать некоторые выводы: 1) нет сомнений, что физика микромира стоит на пороге рождения новой ядерной физики с новым бесконечно сложным объектом – ядром и новым римановым ядерным пространством; 2) необходимо построение новых ядерных моделей на принципах плотных шаровых упаковок и соответствующих симметрий ядерной структуры; 3) остро необходимо конструирование новых совершенных ядерных ускорителей в диапазоне от кулоновского барьера (около 15-20 МэВ) до порога рождения мезонов (около 150-200 МэВ), позволяющих «спектроскопические» измерения продуктов ядерных реакций со

множеством корреляционных экспериментальных схем и одновременной регистрации всего многообразия вторичных частиц ядерных реакций.

Список литературы:

1. Гриднев К.А., Дьячков В.В., Юшков А.В. Определение статвеса волновых функций мультикластеров в легких ядрах в рамках параметризованного фазового анализа // Изв. РАН. Сер. физ., 2014.- Т. 78(7).- С. 857-859
2. Гриднев К.А., Дьячков В.В., Юшков А.В. Явление дифракционного подъема сечений в передней полусфере углов как эффект ядерной и кластерной интерференции // Изв. РАН. Сер. физ., 2015.- Т. 79.- №7.- С. 950-951.
3. Дьячков В.В., Юшков А.В. Термины и определения в ядерной физике // Уч. пособ.- Germany, 2012.- 86 с.
4. Дьячков В.В. Справочник атомных ядер // Алматы, 2013.- 52 с.
5. Дьячков В.В., Юшков А.В. Системно-структурный закон микромира // Изв. НАН РК, сер. физ.-мат.- Алматы, 2013.- 2(288).- С. 130-133
6. Жусупов М.А., Юшков А.В. Физика элементарных частиц. Т. 2. - Алматы, 2006.- 488 с.
7. Жусупов М.А., Юшков А.В. Физика атомных ядер. Т. 3. - Алматы, 2006. - 455 с.
8. Оганесян Ю.Ц. Острова стабильности // В мире науки. - 2005. - № 3. - С. 66-77

Международный независимый институт Математики и Систем "МиС"

Ежемесячный научный журнал
№10 (21) / 2015

Главный редактор — д. т.н., Клехов А.Н. (РФ, Рязань)

Редакционный совет:

Альметьев Кондрат Викторович

Казанский государственный технологический университет

Бабушкин Сергей Дмитриевич

Казанский государственный технологический университет

Геверов Филипп Александрович

Новосибирский государственный университет

Веренов Артем Денисович

Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра

Дзеркальский Руслан Рамзанович

Алтайский государственный университет

Квит Владимир Арсеньевич

Рязанский государственный радиотехнический университет

Крамской Николай Алексеевич

Белгородский государственный университет

Лутковский Геннадий Владимирович

Ивановский государственный университет

Морин Дмитрий Александрович

Югорский государственный университет

Мезельская Арина Александровна

Рязанский государственный радиотехнический университет

Охрименко Вадим Леонидович

Новосибирский государственный университет

Семченко Игорь Олегович

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Татарских Денис Анатолиевич

Новосибирский государственный университет

Федорин Иван Николаевич

Южный федеральный университет

Художник: Курагин Денис Андреевич

Верстка: Еремин Александр Дмитриевич

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23

E-mail: info@math-systems.ru ; <http://math-systems.ru/>

Международный независимый институт математики и систем "МИС"

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 630005, г. Новосибирск, ул. Ермака, 39, оф. 23