

Международная Объединенная Академия Наук

НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Сборник научных трудов

**по материалам
XX международной научной конференции**

10 апреля 2020 г.

Часть 2



Екатеринбург 2020

УДК 001.1
ББК 60

Н34

Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам XX международной научно-практической конференции 10 апреля 2020 г. Часть 2 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2020. – 80 с.

SPLN 001-000001-0608-SR
DOI 10.18411/sr-10-04-2020-p2
IDSP sciencerussia-10-04-2020-p2

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XX международную научно-практическую конференцию **Наука России: Цели и задачи**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Электронная версия сборника доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: science-russia.ru

УДК 001.1
ББК 60

SPLN 001-000001-0608-SR

<http://science-russia.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ IX. БИОЛОГИЯ	5
Аймагамбетов М.Ж., Омаров Н.Б., Абдрахманов С.Т., Ахметов А.Ж., Рахметуллин А.Б., Мұқаш Е.Ә. Результаты хирургического лечения больных с желчнокаменной болезнью за последние 5 лет по материалам клиники	5
Аймагамбетов М.Ж., Омаров Н.Б., Масалимов Е.О., Аужанов Д.Б., Байзакова С.К., Карибаев К.Т. Наш опыт лечения диффузно – токсического и узлового зоба	7
Лин Э.Э. Кластерная модель образования мутационного кератина под действием облучения	12
Шелухо В.П. Особенности развития очагов звездчатого пилильщика-ткача в Брянской области	15
РАЗДЕЛ X. БИОТЕХНОЛОГИИ	20
Сонис А.Г., Алексеев Д.Г., Безрукова М.А., Манцагова С.А. Роль и место системных мероприятий в комплексном лечении пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями пальцев кисти и стопы	20
РАЗДЕЛ XI. МАТЕМАТИКА	25
Гузевич С.Н. Соблюдение аксиоматики Евклида - условие достоверности измерений	25
Леонова О.В. Простейшая модель страхования	32
РАЗДЕЛ XII. МОДЕЛИРОВАНИЕ	35
Ищейкин Г.Ю. Расчет аэродинамических усилий	35
РАЗДЕЛ XIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	39
Фазуллин Р.А. Анализ методов моделирования транспортного потока в рамках построения автоматизированной системы управления трафиком городского транспорта	39
Халявина А.А. Исследование методов автоматизированного контроля сложных электронных систем	42

РАЗДЕЛ XIV. НАУКИ О ЗЕМЛЕ	48
Уханов В.П., Новосёлов А.С. Размещение и потенциал низинных болотных массивов Сокольского района Вологодской области.....	48
РАЗДЕЛ XV. ФИЗИКА.....	56
Аксёнов В.В. Пятнадцать теорем математической геофизики. Формулировки, доказательства, ссылки на публикации.....	56
РАЗДЕЛ XVI. ХИМИЯ.....	71
Шарифуллин А.В., Камара М, Байбекова Л.Р. Современные представления о генезисе образования смол и асфальтенов в условиях пласта.....	71
РАЗДЕЛ XVII. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	78
Бородин Н.Н., Мелик-Шахназарова И.А., Портнягин Н.Н. Особенности перехода к дистанционным формам обучения для специальностей электроэнергетического направления	78

РАЗДЕЛ IX. БИОЛОГИЯ

Аймагамбетов М.Ж., Омаров Н.Б., Абдрахманов С.Т., Ахметов А.Ж., Рахметуллин А.Б., Мұқаш Е.Ә.

Результаты хирургического лечения больных с желчнокаменной болезнью за последние 5 лет по материалам клиники

НАО «МУС»
(Казахстан, Семей)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-17

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-17

Аннотация

Изучить тенденции хирургического лечения острого и хронического холецистита и сравнить результаты пациентов. В статье предоставлен 5-летний опыт работы в хирургическом отделении УГ НАО «МУС». Существуют определенные сложные клинические ситуации у страдающих ЖКБ, связанные с трудностью выбором метода хирургического лечения. Мы сравнили лапароскопическую холецистэктомию с минидоступной технологии, в том числе и разработанных инструментов, чтобы определить, какая стратегия лечения лучше.

Ключевые слова: острый калькулезный холецистит, хронический калькулезный холецистит, холецистэктомия, лапароскопия, универсальный ранорасширитель.

Abstract

To study the trend of surgical treatment of acute and chronic cholecystitis and compare patient outcomes. The article presents five years of experience in the surgical department of the Semey Medical University. There are certain difficult clinical situations in patients with cholelithiasis, associated with the difficulty in choosing a surgical treatment method. We compared laparoscopic cholecystectomy with minimally available technology, including the developed tools, to determine which treatment strategy is better.

Актуальность: желчнокаменная болезнь (ЖКБ) является одной из распространенных заболеваний. По данным статистических исследований последних лет у 10-15% всего населения выявляются камни в желчных путях. Один из каждых пяти-десяти человек, которые испытывают колики в животе, имеют камни в желчном пузыре или общем желчном протоке. Операции на желчном пузыре и внепеченочных желчных протоках, в настоящее время, занимают первое место в абдоминальной хирургии.[1,3,4,6,8].

В настоящее время операции по поводу острого холецистита стали наиболее частыми в ургентной хирургии и, по некоторым данным, их число превышает количество операций при остром аппендиците. Не уменьшается количество осложненных форм холедохолитиаза, частота которых достигает 35%. [2,5,7].

Большинство больных – люди пожилого и старческого возраста, имеющие различные сопутствующие патологии. У 40-44,1% больных наблюдаются тяжелые соматические заболевания. Послеоперационная летальность при экстренных и срочных операциях не имеет тенденции к снижению и находится в пределах 0,9-5,7%. Интраоперационные осложнения при миниинвазивных вмешательствах достигают 5%, с летальностью 0,3-0,6%. [9,10].

Цель исследования: изучение результатов хирургического лечения больных с острым и хроническим калькулезным холециститом.

Методы материалы: нами проведено хирургическое лечение у 2585 больных с ЖКБ, находившихся на лечении в хирургическом отделении УГ НАО МУС за последний 5 лет. Критерии включения: все пациенты с острым и хроническим холециститом мужчины 580(22,4%) и женщины 2005(77,6%). Средний возраст составил $55 \pm 2,7$ лет (30,5%).

Результаты исследования: Больные распределились следующим образом: мужчин – 580(22,4%) женщин – 2005(77,6%). Все пациенты ЖКБ были в возрасте от 18-80 лет. Большинство пациентов находились в группе 51-60 лет - 894(30,5%) пациента. Распределились больные по нозологической форме 1940(75%) хронический калькулезный холецистит, острый калькулезный холецистит 645(25%). Сроки госпитализации больных с острым холециститом до 24 часов (17,2%), 24-72 часа(30,6%), позднее 72 часов(52,2%). Сравнительная характеристика результатов операции из минидоступа с использованием универсального ранорасширителя при хроническом холецистите длительность операции $68,5 \pm 18,2$ минут, послеоперационные осложнения 6(0,5%), длительность пребывания в стационаре $7,3 \pm 1,2$ койки дней. При остром холецистите длительность операции $81,2 \pm 21,9$ минут, послеоперационные осложнения 18(8,56%), длительность пребывания в стационаре $8,7 \pm 1,7$ койки дней, конверсия 4(1,7%) (рисунок 1).

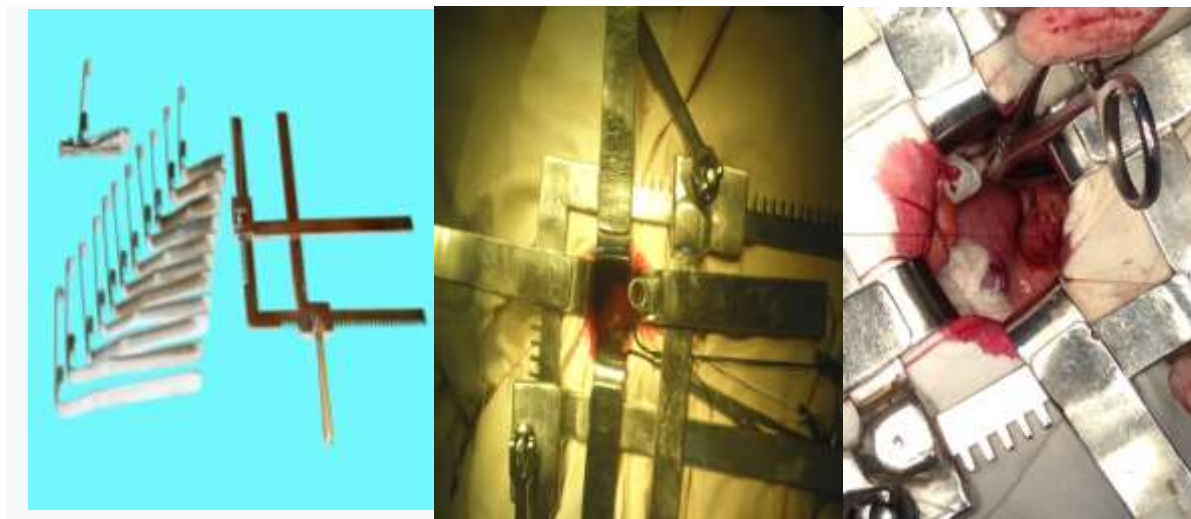


Рис 1. Универсальный ранорасширитель
1 – опорная рамка; 2 – набор крючков-зеркал; 3 – крючок-зеркало со световодом

Сравнительная характеристика результатов лапароскопической холецистэктомии при хроническом холецистите длительность операции $48,4 \pm 9,6$ минут, длительность пребывания в стационаре $6,9 \pm 0,7$ койки дней. При остром холецистите длительность операции $52 \pm 12,9$ минут, послеоперационные осложнения 12,4(4%), длительность пребывания в стационаре $7,2 \pm 1,0$ койки дней, конверсия 12(3,75%).

Сравнительная характеристика результатов операции из минидоступа с использованием набора инструментов «Мини Ассистент» (рисунок 2) при хроническом холецистите длительность операции $62,7 \pm 26,3$ минут, послеоперационные осложнения 12,34(3,4%), длительность пребывания в стационаре $9,0 \pm 2,6$ койки дней. При остром холецистите длительность операции $73,8 \pm 27,5$ минут, послеоперационные осложнения 140(11,34%), длительность пребывания в стационаре $10,2 \pm 2,0$ койки дней, конверсия 27 (2,2%).

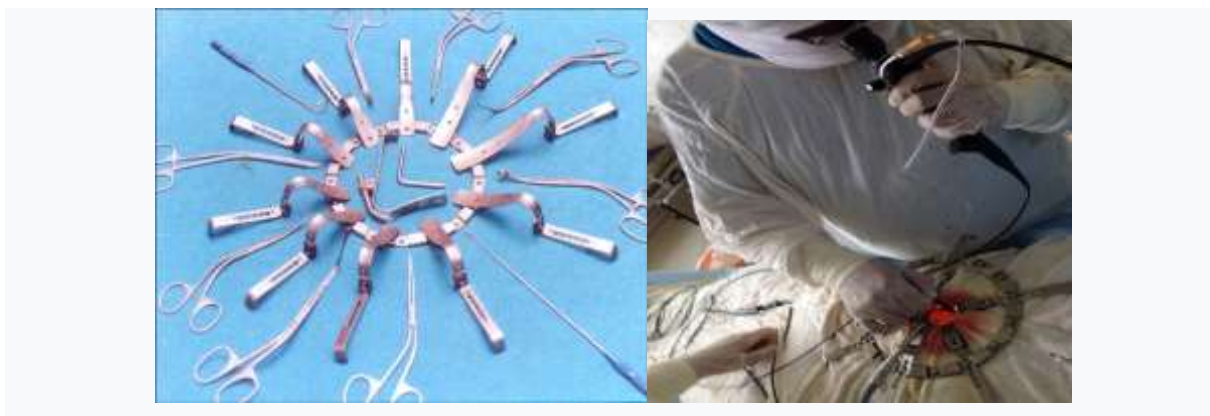


Рис.2. «МИНИ-АССИСТЕНТ Луга -7»

Выводы: Проведенный анализ результатов лечения показал, что комплексное применение минидоступной технологии, в том числе и разработанных инструментов, позволило выполнить малоинвазивные оперативные вмешательства у 2585(91,2%) больных желчнокаменной болезнью и ее осложнениями, без конверсии на традиционный доступ и 2585(9,5%) послеоперационных осложнений.

1. Andercou O., Olteanu G., Mihaileanu F., Stancu B., Dorin M. Risk factors for acute cholecystitis and for intraoperative complications // Ann Ital Chir. 2017. №88. P.318-325.
2. Gupta V, Benerjee S, Garg H, et al.: Spontaneous cholecysto-antral-cutaneous fistula: a consequence of neglected calculus cholecystitis. Singapore Med J. 2012; 53(10): e 201–203.
3. Ioannidis O, Paraskevas G, Kotronis A et al: Spontaneous cholecystocutaneous fistula draining from an abdominal scar from previous surgical drainage. Ann Ital Chir, 2012; 83(1): 67–69.
4. Kapoor Y, Singh G, Khokhar M: spontaneous cholecystocutaneous fistula – not an old time story. Indian J Surg, 2013; 75(Suppl. 1): S188–91.
5. Mohseni M., Kruse B., Graham C. An Elderly Woman with Abdominal Pain: Mirizzi Syndrome // Am J Case Rep. 2019. №20. P.394-397.
6. Tallón Aguilar L, López Porras M, Molina García D, et al.: Fístula colecistocutánea. Una rara complicación de la coleditiásis. Gastroenterol Hepatol. 2010; 33(7): 553–54.
7. Ugalde Serrano P, Solar García L, Miyar de León A, et al.: [Cholecystocutaneous fistula as a first sign of presentation of a gallbladder adenocarcinoma]. Cir Esp. 2013;91(6): 396–397.
8. Urban CA, Urban LABD, Lima RS, Bleggi-Torres LF: Spontaneous combined internal and external biliary fistulae in association with gallstones and gliomatosis of the gallbladder. Rev Bras Cancerologia 2001;47:273–276.
9. Vasanth A, Siddiqui A, O'Donnell K: Spontaneous cholecystocutaneous fistula. South Med J. 2004;97(2): 183–185.
10. Yüceyar S, Ertürk S, Karabiçak I, Onur E, Aydoğan F: Spontaneous cholecystocutaneous fistula presenting with an abscess containing multiple gallstones: a case report. Mt Sinai J Med 2005;72:402–404.
11. Schirmer B.D., Winters K.L., Edlich R.F. Cholelithiasis and cholecystitis // J Long Term Eff Med Implants. 2005. №15(3). P.329-338.

**Аймагамбетов М.Ж., Омаров Н.Б., Масалимов Е.О., Аужанов Д.Б, Байзакова С.К.,
Карибаев К.Т.**

Наш опыт лечения диффузно – токсического и узлового зоба

*НАО «МУС»
(Казахстан, Семей)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-18

idsp: sciencerussia-10-04-2020-18

Аннотация

В статье отражены виды оперативного лечения диффузно токсического (ДТЗ) и узлового зоба в хирургическом отделении УГ НАО «МУС» Представлены достоинства и недостатки методов того или иного оперативного лечения. В статье

представлен опыт лечения 122 пациентов. Дан анализ отдаленных результатов хирургического лечения и качества жизни пациентов в период с 2015 по 2019 гг.

Ключевые слова: Диффузно токсический зоб, тиреоидэктомия, резекция, щитовидная железа.

Abstract

This article represents the types of the surgical treatment of diffuse toxic nodular goiter in the surgical department of University Hospital of “Semey Medical University” Non-Commercial Joint-Stock Company. There are presents advantages and disadvantages of the methods of one or another surgical treatment. The article exists the experience of the treatment of 122 patients. The analysis of the long-term results of surgical treatment and the quality of life of patients from 2015 to 2019 is given.

Keywords: Diffuse toxic goiter, thyroidectomy, resection, thyroid gland.

Актуальность: Диффузно-токсический одно из самых распространенных заболеваний эндокринной системы. Частота новых случаев диффузно-токсический зоб варьирует от 30 (0,03%) до 200 (0,2%) на 100 тыс. населения в год. В регионах с нормальным йодным обеспечением диффузно-токсический зоб является наиболее частой причиной стойкого тиреотоксического состояния, а в йододефицитных регионах в этиологической структуре токсического зоба диффузно токсический зоб конкурирует с функциональной автономией щитовидной железы (узловой и многоузловой токсический зоб). Диффузно токсический зоб является одной из основных причин обращаемости населения за эндокринологической помощью, составляет до 80% всех случаев гиперфункции щитовидной железы и наиболее часто встречается в возрасте от 20 до 40 лет.

В России заболеваемость диффузным токсическим зобом (ДТЗ) в различных регионах страны составляет от 20 до 50 случаев на 100 000 населения. При этом болеют преимущественно женщины трудоспособного возраста от 18 до 50 лет [1,3]. Хирургическое лечение больных ДТЗ в России до настоящего момента является основным методом, обеспечивающим наиболее быструю и эффективную ликвидацию тиреотоксикоза. Показания к оперативному лечению возникают у 40-60 % больных [2,5].

Большинство хирургов придерживаются тактики выполнения субтотальной резекции щитовидной железы [4,8]. За рубежом, наоборот, большинство авторов выступают за проведение тиреоидэктомии [7,9]. В настоящее время данный вопрос остается актуальным и дискуссионным. Послеоперационный гипотиреоз при этом наблюдается в 10-80 % случаев, что расценивается как естественный исход оперативного лечения. Рецидив тиреотоксикоза встречается в 10-15% [10].

По мнению большинства исследователей, тиреоидный статус оперированных больных зависит от функциональной активности щитовидной железы, аутоиммунного процесса и объема тиреоидного остатка после резекции []. Изучению зависимости между морфологическими изменениями, возникающими в ткани щитовидной железы у больных ДТЗ, длительностью тиреостатической терапии, возрастом пациентов и объемом тиреоидного остатка уделено недостаточно внимания. Детальное изучение состояния больных после субтотальной резекции ЩЖ, выполненной по поводу ДТЗ, позволит выработать оптимальную тактику хирургического лечения, провести коррекцию послеоперационных осложнений, разработать комплекс мер по предупреждению и лечению нарушений функции тиреоидного остатка.

Цель исследования: Улучшить результаты хирургического лечения диффузно токсического зоба с выработкой алгоритма лечения.

Материалы и методы: В хирургическом отделении УГ НАО «МУС», являющейся клинической базой кафедры госпитальной хирургии, за период с 2015 по 2019 гг было прооперировано 122 пациентов с диффузно-токсическим зобом. Всем

больным проведено по показаниям общеклинические обследования сцинтиграфия шеи, ультрасонография шеи. Пациенты поступали после комплексного обследования и лечения у эндокринолога. Операции при диффузно токсическом зобе относятся к технически сложным видам хирургического вмешательства; из-за расположения железы с жизненно важными и малыми по размеру анатомическими структурами, значительные размеры щитовидной железы, спаечный процесс, большое число полнокровных и аномальных сосудов, повышенная кровоточивость в результате лечения тиреостатическими препаратами, вследствие риск возникновения кровотечения, и травмы возвратного нерва, и удаление паращитовидных желез.

Показания к хирургическому лечению были

- безуспешность консервативной терапии, возникновений осложнений при ее проведении,
- наличие зоба больших размеров
- компрессия органов шеи увеличенной железой
- необходимость устранения тиреотоксикоза в кратчайший срок.

Оперативные вмешательства выполнялись по классической методике субтотальной резекции щитовидной железы по Николаеву - 38 операций (31,1%) и односторонняя лобэктомия ЩЖ -68 операций (55,7%), эмболизация артерий щитовидной железы -12 в в 2018-2019г (9,8%), полная тиреоидэктомия – 2,(1,8%), энуклеация кисты или узла 1(0,8%).

Распространенность болезни от18 до 68 лет, Средний возраст пациентов составлял 37±8 лет (рисунок 2). Среди них 110 (89,5%) женщин, 12 (10,5%) мужчин (рисунок-1).



Рисунок 1

Пациенты с трудоспособностью 100 (81,9%). Диагноз выставлен по результатам клинического, лабораторного (уровень гормонов щитовидной железы в крови), инструментального исследования. Консервативное лечение болезни длилось с 1 по 15 лет. У больных которые были под наблюдением обнаружили: у 40 (34,5%) диффузно токсический зоб, у 28 (24,5%) узловой зоб, у 46 (40%) диффузно узловой зоб, у 1 (0,86%) узловой зоб расположенный за грудиной, у 4 (3,5%) аутоиммунный тиреоидит Хашимото, у 9 (8 %) злокачественный рак щитовидной железы.

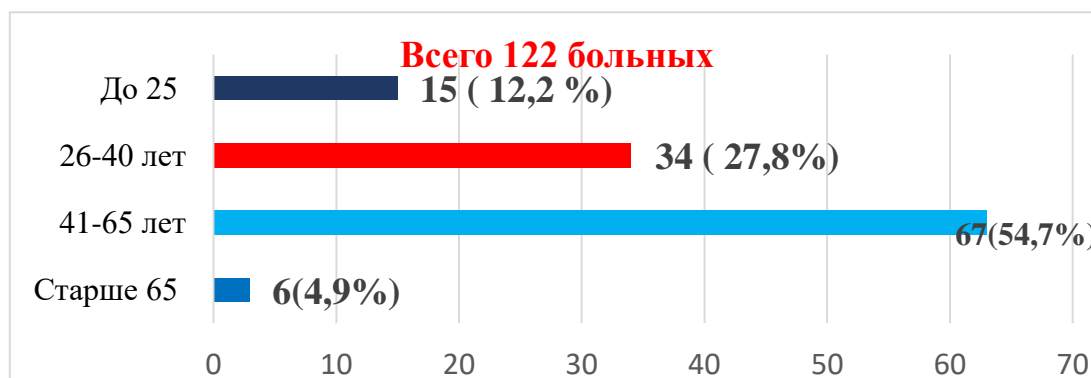


Рисунок 2

Оперативные вмешательства выполнялись по классической методике субтотальной резекции щитовидной железы по Николаеву - 38 операций (31,1%) и односторонняя лобэктомия ЩЖ -68 операций (55,7%), эмболизация артерий щитовидной железы -12 в в 2018-2019г (9,8%), полная тиреоидэктомия – 2,(1,8%), энуклеация кисты или узла 1(0,8%).

Объем щитовидной железы в УЗИ у больных под наблюдением (таблица-1)

Таблица 1

Объем	Количество, процентный показатель
V=25 см ³	66(54%)
V=35см ³	19 (15,5 %)
V=35 см ³ больше	37 (30,5 %)

Средний показатель гормонов щитовидной железы (ТТГ, Т4 свободный) у больных групп наблюдения в пред операционном периоде (таблица-2):

Таблица 2

№	Диагноз	ТТГ (0,4-4мкМЕ/л)	Т4 бос (10-23 пмоль/л)
1	Диффузно-токсический зоб	0,77± 0,1	20,2± 0,1
2	Узловой зоб	1,84±0,1	16,0 ± 1

Послеоперационный диагноз, выставленный на основаниях гистологического исследования (рисунок 3):

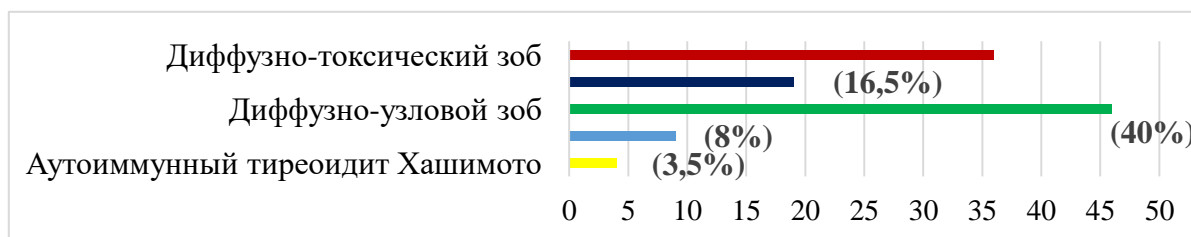


Рисунок-3.

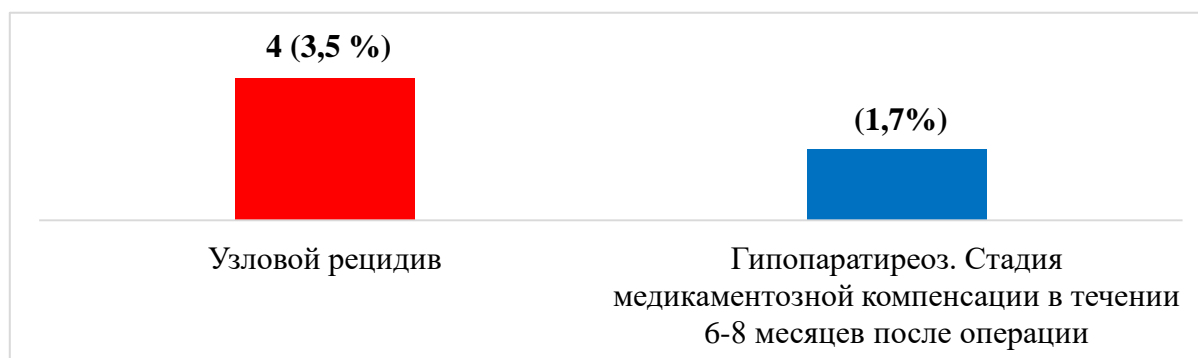
Результаты исследования: Парез голосовых связок у 4(3,2%) больных, кровотечение у 5 (4%) больных, тиреостатический криз у 19 (17%) больных ,гипопаратиреоз у 2(1,6%) больных. В позднем послеоперационном периоде рецидив узлового зоба у 4 (3,2%) больных, гипопаратиреоз у 2(1,6 %) больных (рисунок 4).

Послеоперационные ранние осложнения:



Рисунок 4. Послеоперационные поздние осложнения:

В послеоперационном периоде 88 больных из 122 наблюдались у врача эндокринолога УГ НАО «МУС» в течении 5 лет.



Средние показатели гормонов (ТТГ, Т4) больных групп наблюдения после оперативного лечения через 6 месяцев (таблица 3):

Таблица 3

№	Диагноз	ТТГ (0,4-4мкМЕ/л)	Т4 бос (10-23 пмоль/л)
1	Диффузно-токсический зобп (12)	2,6-2,7	12-14
2	Узловой зобп (10)	2,2-2,3	11-13

Заключение: Полученные данные о результатах лечения и качестве жизни пациентов свидетельствует о том что гемиструмэктомия остается одним из основных видов оперативного лечения при узловых зобах. Во время хирургического вмешательства хирургу следует оставить адекватное количество ткани щитовидной железы, обеспечивающее пациенту наличие эутиреоидного состояния.

У больных с диффузно-токсическим зобом в случае безуспешности консервативного лечения должны направляться на раннее оперативное лечение, так как после курса тиреотоксической терапии которая длится 12-18 месяцев возможность рецидива тиреотоксикоза 70-75%. У больных которые длительное время получали лечение – ранние послеоперационные осложнения: тиреотоксический криз и частые кровотечения. В нашем наблюдении кровотечения 5 (4%), тиреотоксический криз 19 (17%). У больных с узловым зобом при длительном лечении появляется риск малигнизации. В нашем наблюдении злокачественный рак щитовидной железы у 9(7,3%) больных. Один из методов современного хирургического лечения может быть эмболизация артерий щитовидной железы при диффузно-токсическом зобе. Из 12 пациентов которым провели эмболизацию артерий щитовидной железы наступило полное выздоровление.

Практические рекомендации:

1. Больные с диффузно-токсическим зобом в предоперационном периоде должны пройти эмболизация артерии щитовидной железы. Это уменьшает риск кровотечений во время операций и тиреотоксического криза в послеоперационном периоде.
2. Больные с диффузно-токсическим и узловым зобом при увеличении щитовидной железы на УЗИ больше V=25 куб.см, учитывая не эффективность консервативного лечения, должны направляться на оперативное лечение.

3. Больные с узловым зобом вне зависимости от результатов тонкоиглоевой биопсии должны направляться на оперативное лечение

Алгоритм лечения диффузно-токсического зоба:

Диффузно-токсический зоб объем щитовидной железы больше $V=25$ куб.см получают медикаментозное лечение у эндокринолога в течении 2 месяцев при увеличении объема щитовидной железы направить на оперативное лечение 1-этап: эмболизация сосудов щитовидной железы в рентгенэндоваскулярной хирургии 2-этап: субтотальная, субфасциальная резекция щитовидной железы.

1. Ж.Н. КЫЖЫРОВ, Ж.Е. УТЖАНОВА, А.Б. ЖҮНІСБЕКОВА, А.Б. ТАЙБУРОВ, Ә.Ж. МЕРҒАЛИ Кафедра интернатуры и резидентуры по хирургии №2 КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова Опубликовано в 2017, Выпуск № 1(55) Январь 2017, МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ
2. Андреев М.М. Отдаленные результаты и качество жизни пациентов после хирургического лечения диффузного токсического зоба. Аспирантский вестник Поволжья. 2010;7-8:153-157. 2.
3. Ветшев П.С., Мамаева С.К. Прогностические факторы хирургического лечения диффузного токсического зоба. Хирургия. 2006;2:63-68.
4. Ильичева Е.А., Шпакова Е.А., Рой Т.А., Махутов В.Н., Тарнуева И.Ф., Мошкова Е.С. Особенности течения пареза гортани после хирургического лечения диффузного токсического зоба. Вестник оториноларингологии. 2011;3:51-54.
5. Какчеева Т.Т., Салиева Б.Р., Логочева Е.Г., Нуралиев М.А., Бебезов Х.С. Результаты хирургического лечения диффузного токсического зоба (болезни Грейвса). Вестник КРСУ.2013;13:1:114-117.
6. Калинин А.П., Майстренко Н.А., Ветшев П.С. Хирургическая эндокринология. СПб.: Питер; 2004;960.
7. Кандрор В.И. Механизмы развития болезни Грейвса и действия тиреоидных гормонов. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2008;4:1:26-34.
8. Каширова Т.В., Фадеев В.В., Перминова С.Г., Назаренко Т.А., Корнеева И.Е., Лесникова С.В., Ибрагимова М.Х. Особенности репродуктивной функции женщин с болезнью Грейвса. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2009;5:2:51-57.
9. Кузнецов Н.С., Симакина О.В., Ким И.В. Предикторы послеоперационного гипопаратиреоза после тиреоидэктомии и методы его лечения. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2012;8:2:20-30.
10. Курихара Х. Оперативное лечение болезни Грейвса: суперсубтотальная резекция щитовидной железы. Вестник хирургии. 2006;165:3:С 28-30.

Лин Э.Э.

Кластерная модель образования мутационного кератина под действием облучения

*Российский Федеральный Ядерный Центр
(Россия, Саров)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-19

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-19

Аннотация

В целях разработки новых подходов к исследованию онкологии в данной работе предпринимается попытка рассмотреть возможный механизм образования мутационного кератина без образования полипептидных наноцепочек из глицина и молекул рибонуклеиновых кислот, т.е. без заданного биологического кода. На основе разработанного ранее кластерного подхода показано, что диаметр такой фибриллярной белковой наночастицы значительно увеличивается при возбуждении колебательных уровней молекул глицина под действием облучения. На основном колебательном уровне глицина диаметр фибриллярной наночастицы равен 5 нм, а при возбуждении второго колебательного уровня глицина диаметр увеличивается до 7,5 нм. Последняя величина равна стандартному диаметру кератина. Подобные мутации – образование «псевдокератина» под действием облучения – могут оказаться причиной возникновения злокачественных новообразований в эпителии, развивающихся в плоскоклеточный рак кожи.

Ключевые слова: кератин, глицин, облучение, колебательный уровень, мутации

Введение

Известно, что под действием облучения в приповерхностных слоях кожи (эпителии) могут образоваться злокачественные участки (опухоли), развивающиеся в плоскоклеточный рак [1]. Механизм возникновения этого заболевания до сих пор не изучен до полной ясности. Можно полагать, что образование злокачественных участков кожи обусловлено мутациями структуры её вещества на молекулярном уровне. Например, эти мутации могут возникать в результате возбуждения колебательных уровней многоатомных молекул аминокислот глицина и аланина при поглощении энергии внешнего излучения. Эти возбуждения, в свою очередь, могут приводить к изменению свойств фибриллярного белка кератина, входящего в структуру эпителия и содержащего, в основном, указанные аминокислоты [2]. На основе разработанного ранее кластерного подхода [3, 4] в данной работе предпринимается попытка рассмотреть возможный механизм образования мутационного кератина без образования полипептидных наночастиц из глицина и молекул рибонуклеиновых кислот, т.е. без заданного биологического кода.

Метод

Процесс необратимой агрегации объектов будем рассматривать в терминах волны $\varphi(a, t)$ плотности распределения в пространстве размеров кластеров a , распространяющейся с течением времени t в сторону их увеличения [3, 4]. Следуя [3, 4], можно записать следующее соотношение неопределенностей для координаты и импульса в пространстве размеров кластеров:

$$\Delta a \cdot \Delta p \cong \frac{\hbar}{2}. \quad (1)$$

Здесь $\Delta p \sim p = m \Delta a / \Delta t$ – неопределенность импульса, m – масса кластера, \hbar – приведенная постоянная Планка. Неопределенность импульса по порядку величины равна самому импульсу, т. е. взаимодействие кластера с зародышем либо имеет место, либо его нет. Физический смысл соотношения (1) заключается в том, что в течение промежутка времени Δt элементарного (единичного) акта взаимодействия кластера с зародышем точный размер кластера не может быть определен до тех пор, пока это взаимодействие не завершится либо захватом зародыша, либо частичным или полным разрушением кластера, либо упругим рассеянием участников взаимодействия. Это связано с тем, что до окончания рассматриваемого элементарного акта невозможно определить, к какому из объектов относится каждый из их взаимодействующих поверхностных элементов, из которых состоят рассматриваемые объекты. В данном случае зародышами биологических объектов являются молекулы аминокислот, а поверхностными элементами – кристаллообразующие атомы углерода С, азота N и кислорода О. Это означает, что принцип неопределенности квантовой механики в предложенной расширенной трактовке допускает мутации биологических объектов на молекулярном уровне. Упомянутый промежуток времени Δt в пределе равен масштабу времени t_i взаимодействия кластера с зародышем. Диапазон t_i определяется характерными временами колебаний t_v связей С–С, С–О и С–N.

По правилу Гейзенберга для основного уровня энергии колебаний одной связи имеем:

$$t_i \equiv t_v = \frac{\hbar}{E_v^{(v=0)}} = \frac{2}{\omega_e c}.$$

Здесь $E_v \approx \left(v + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_e c$, $v = 0, 1, 2, 3, \dots$, c – скорость света в вакууме, ω_e – волновое число собственных колебаний, которое для указанных связей приблизительно

равно $\omega_e \approx 2 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ [5]. Отсюда получаем, что период колебаний одной связи равен $t_i \equiv t_v \cong 3,3 \times 10^{-14} \text{ с}$. В случае возбуждения колебаний n связей молекулы имеем $t_i \equiv nt_v$.

Условие сохранения массы в элементарном акте захвата зародыша кластером записывается следующим образом:

$$m(a) + m_0 = m(a + \Delta a) \Rightarrow m_0 \frac{V(a)}{V_0} + m_0 = m_0 \frac{V(a + \Delta a)}{V_0}. \quad (2)$$

Здесь $m_0, V_0 = a_0^3$ – масса и объем зародыша размером a_0 , $V(a)$ – объем кластера до взаимодействия с зародышем как функция размера a , $V(a + \Delta a)$ – объем кластера после окончания элементарного акта взаимодействия, масса кластера $m(a)$ представляется как произведение массы зародыша и числа зародышей в объеме кластера, которое равно отношению объема кластера к объему зародыша.

Следуя методу [4], получаем из соотношения (1) и условия сохранения массы (2) в элементарном акте присоединения зародыша к свободному окончанию нити, что в случае круглой формы сечения сплошной фибриллярной наночастицы выражение для диаметра нити может быть записано как

$$d \approx a_0 \left(\frac{32m_0 a_0^2}{\pi^2 \hbar t_i} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (3)$$

В случае трубчатой (полый) наночастицы в [4] получено следующее выражение для внешнего диаметра трубки:

$$d \approx a_0 \left(\frac{2m_0 a_0^2}{\pi^2 \hbar t_i} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

При этом толщина оболочки трубки равна размеру зародыша.

Тестирование кластерной модели было проведено в [4] в случае нитевидных нановолокон на примерах белков коллагена и миозина, нейрофиламента, а также трубчатой нейрофибриллы человека. Было получено приблизительное соответствие расчетных толщин мутационных нановолокон толщинам указанных белков.

Результаты

В данной работе в качестве зародышей будем рассматривать глицин ($m_0 = 1,25 \times 10^{-25} \text{ кг}$, $a_0 = 0,42 \text{ нм}$ [6]). Характерный масштаб времени на основном (нулевом) колебательном уровне примем равным $t_i \equiv t_v \cong 3,3 \times 10^{-14} \text{ с}$, т. е. полагаем, что для захвата столь малого зародыша достаточно возбуждения одного колебания крайней связи CO либо CN при отрыве атома водорода. В [4] показано, что вероятность подбарьерного (туннельного) процесса отрыва атома Н от кристаллообразующих атомов отлична от нуля. Тогда из формулы (3) получаем, что на основном (нулевом) колебательном уровне молекул глицина диаметр сплошной фибриллярной наночастицы равен $d \approx 5 \text{ нм}$, а при возбуждении второго колебательного уровня молекул глицина диаметр увеличивается до $d \approx 7,5 \text{ нм}$, так как по правилу Гейзенберга масштаб времени на втором уровне уменьшается в 5 раз. В случае возбуждения колебаний всех кристаллообразующих связей молекул глицина, когда $t_i \equiv nt_v = 1,32 \times 10^{-13} \text{ с}$, по формуле (4) получаем, что на основном колебательном уровне диаметр полый наночастицы равен $d \approx 7,5 \text{ нм}$.

Полученная величина $d \approx 7,5 \text{ нм}$ равна типичному диаметру кератина [2]. Можно полагать, что мутации в виде образования сплошного «псевдокератина» под действием внешнего излучения, а также полого объекта при включении колебаний всех кристаллообразующих связей молекул глицина являются причиной возникновения злокачественных новообразований в эпителии, развивающихся в плоскоклеточный рак кожи.

Вывод

Предложенный кластерный подход, основанный на принципе неопределенности квантовой механики в расширенной трактовке, допускает возможность образования мутационного кератина под действием внешнего излучения, а также при возбуждении колебаний всех кристаллообразующих связей молекул глицина.

1. Шабад Л.М. Рак // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1975. Т. 21. С. 440.
2. Шпикитер В.О. Кератины // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1973. Т. 12. С. 55-56.
3. Лин Э.Э. Кластерный механизм стохастической кинетики образования мутационных белковых наночастиц и мезообъектов // Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов, по материалам XIV международной научно-практической конференции 10 апреля 2019 г. Часть 4 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. С. 25-32.
4. Лин Э.Э. Асимптотическая кинетика образования объектов с квантовыми свойствами: монография. – Саратов: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. 193 с.
5. Краткий справочник физико-химических величин. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. 232 с.
6. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнология. – Москва: Техносфера, 2007. С. 269-290.

Шелухо В.П.

Особенности развития очагов звездчатого пилильщика-ткача в Брянской области

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»
(Россия, Брянск)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-20

idsp: sciencerussia-10-04-2020-20

Аннотация

Для ведения устойчивого лесного хозяйства и сохранения устойчивости и продуктивности лесов большое значение имеет своевременная индикация состояния насаждений для планирования и разработки эффективных управляющих решений. Такую возможность представляет информация о динамике площадей и степени объедания насаждений вредителями-филлофагами, особенно хвоегрызущими насекомыми.

В статье рассматривается динамика очагов и состояние сосновых насаждений на поврежденных вредителем участках. Отмечена различная популяционная динамика вредителя и продолжительность диапаузы личинок.

Ключевые слова: хвоегрызущие вредители-филлофаги, сосновые насаждения, очаги звездчатого пилильщика-ткача, степень объедания, доля диапаузирующих личинок.

Из-за многолетнего ассимиляционного аппарата хвойные растения обладают большей индикационной способностью для выявления степени изменения состояния лесов при воздействии неблагоприятных факторов, вследствие более значимого влияния дефолиации на состояние деревьев и медленного восстановления устойчивости. Для Брянской области, где преобладающими являются хвойные насаждения, мониторинг их состояния наиболее значим для оперативной оценки изменения состояния и прогнозирования ситуации.

Рост площади очагов хвоегрызущих насекомых отражает чаще изменения температурно-влажностных характеристик природной среды в сторону границ переносимости фактора растениями. Проявляется тесная связь значений гидротермических коэффициентов с площадью очагов филлофагов и степенью активности вредителей.

При ухудшении водоснабжения снижается эффективность защитных систем растений из-за снижения давления живицы в смолоходах, в хвое изменяется биохимический состав с увеличением содержания белков, что делает растения более качественной пищей для насекомых-потребителей. Вредители увеличивают выживаемость, плодовитость, что приводит к росту их численности и степени воздействия на деревья, росту площади очагов размножения.

Размер вреда, причиняемого хвоегрызущими насекомыми, и дальнейшая судьба повреждаемых насаждений зависят от многих условий: от степени, характера, времени повреждения, возраста дерева, его состояния, условий произрастания, численности и активности стволовых вредителей. Массовые размножения хвоегрызущих вредителей леса отражают начало ослабления насаждений. После их воздействия на насаждения и ещё большего ослабления начинается повышение активности и размножение стволовых вредителей-ксилофагов

На долю хвоегрызущих вредителей леса приходится 13,8% очагов вредителей, которые представлены только очагами звездчатого пилильщика-ткача [3]. В настоящее время, как и в последние четыре года, наибольшие площади очагов пилильщика-ткача действуют в лесах Владимирской и Волгоградской областей (16,3 и 6,6 тыс. га соответственно), которые занимают более 81 % от всей площади насаждений, заселённых этим вредителем. Большинство очагов пилильщика находятся в эруптивной фазе (15,1 тыс. га или 53,5 %) и действуют в лесах 5-ти субъектов страны. Очаги в продромальной фазе вспышки отмечены на площади 6,0 тыс. га, в фазе кризиса – на 6,6 тыс. га, в начальной фазе – на 0,5 тыс. га. Во время вспышек массового размножения численность ткача может достигать очень высоких значений, что приводит к нанесению существенных повреждений крон. Способность впадать в длительную паузу, продолжающуюся иногда 7 лет и более, способствует формированию хронических очагов, в которых высокая численность особей ткача вызывает сильную дефолиацию крон в течение нескольких лет подряд. Всё это ослабляет древостои, в которых сформировались и действуют очаги массового размножения ткача, приводя их к гибели или сильному изреживанию [3].

Использованы стандартные методы получения данных при проведении лесопатологического обследования насаждений, лесопатологического мониторинга, анализ данных отчетности государственного лесопатологического мониторинга. Опытные работы проведены в насаждениях с преобладанием соснового элемента хвойных лесов и долей участия сосны в составе древостоя 6-10 единиц, в условиях В₂, С₂. Подрост представлен 5...20-летними растениями ели, клена, дуба (до 0,7 тыс. шт./га). Средний состав его 8Е2Кл+Д. Исследования проводились в сосновых насаждениях Учебно-опытного и Брянского лесничеств.

Территория Брянской области входит в зону периодических вспышек численности вредителей, циклически образующих очаги размножения по типу вторичных со средним и сильным, но не полным повреждением насаждений. В целом, динамику состояния лесов на территории Брянщины в первые десятилетия XXI-го столетия приходится характеризовать как неустойчивую и тревожную.

Из всего множества видов дендрофильных филофагов значительную опасность лесам Брянской области в настоящее время представляет звездчатый пилильщик – ткач (*Acantholyda posticalis* Mats), с его перманентными вспышками массового размножения, приводящими лесные насаждения к постоянной дефолиации и к потере биологической устойчивости [4]. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос, связанный с изучением экологических особенностей звездчатого пилильщика-ткача в условиях Брянской области.

На сегодняшний день остаются малоизученными биоэкологические характеристики звездчатого пилильщика-ткача, актуален вопрос о прогнозировании массовых вспышек с целью своевременного планирования и назначения разноплановых защитных мероприятий

Звездчатый ткач – новый вид в списке вредителей сосны в Брянской области. Ранее он встречался единично. Первые очаги размножения и повреждения насаждений обнаружены в 2009 году [4] и позднее только увеличивают площадь и распространение по территории лесов зеленой зоны г. Брянск.

Таблица 1

Площади очагов хвоегрызущих вредителей за последние годы

Вид вредителя	Площадь очагов, га								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Звездчатый пилильщик-ткач	54,30	54,30	54,30	62,30	62,30	62,30	63,90	63,90	281,10

Во время вспышек массового размножения численность ткача может достигать очень высоких значений, что приводит к нанесению существенных повреждений крон. Способность впадать в длительную диапаузу, продолжающуюся иногда 7 лет и более, способствует формированию хронических очагов, в которых высокая численность особей ткача вызывает сильную дефолиацию крон в течение нескольких лет подряд. Всё это ослабляет древостой, в которых сформировались и действуют очаги массового размножения ткача, приводя их к гибели или сильному изреживанию [5].

В очаге, сформированном в Учебно-опытном лесничестве (Крыловский отдел) [1, 6], доля свежего сухостоя превышает в 3-4 раза естественный текущий отпад, больше всего деревьев (65%) имеют объедание 50-75%, деревья с объеданием 75-100% встречаются единично (0,3%). Доля деревьев с объеданием на 26-49% составляет 31%. По данным учетов в почве численность личинок составила лт 250 до 280 шт./м², однако до 80% их находились в диапаузе, что затрудняет прогнозирование объедания крон насаждения.

В очаге в Брянском лесничестве (Фокинское участковое лесничество), сформированном в 2016 году, популяция развивается иначе. Степень дефолиации деревьев по данным пробных площадей (4 шт.) составляет 25-55%. Очаг расширяется, находится в эруптивной фазе, численность вредителя растет. Текущий отпад деревьев превышает естественный в 2-3 раза и достигает 13% в некоторых частях очага.

При почвенных учетах отмечено небольшое количество диапаузирующих личинок (до 30 шт./м²), прогноз объедания, рассчитанный на основе популяционных показателей вредителя и текущего охвоения крон деревьев на пробных площадях показал, что ожидается объедание деревьев в средней степени – до 40%.

Для расчета точного прогноза объедания необходим контрольный учет перезимовавшего запаса личинок в апреле-начале мая следующего года.

В 2018 году сформировался очаг размножения пилильщика-ткача звездчатого в Карачижском отделе Учебно-опытного лесничества на территории кв. 68, 69, 79, 58, 59 с более сильным объеданием хвои очагами в освещенных и хорошо прогреваемых древостоях по границам полосы отвода ЛЭП. Постепенное снижение уровня объедания крон наблюдается на расстоянии 200-250 м от полосы отвода ЛЭП.

Учет объедания крон сосны в 2019 году отражен в таблице 2.

Таблица 2

Объедание крон сосны обыкновенной в очаге размножения звездчатого пилильщика-ткача в кв. 68 Карачижского отдела в 2019 году

Кв. выд.	№ п.п.	Краткая такс. характеристика	Количество деревьев, шт/%					Средняя степень объедания, %
			Без повреждения	Объедание до 25%	Объедание до 26-50%	Объедание до 51-75%	Объедание более 75%	
кв. 69 выд. 7	1	10С, 50 лет; 0,9; 1 бон.	7/7,8	40/44,4	13/14,4	9/10	21/23,3	22,2
кв. 69 выд. 7	2	10С, 50 лет; 0,9; 1 бон.	21/15,6	29/21,6	27/20,1	18/13,4	39/29,1	26,2
Среднее:			11,6	33	17,2	11,7	26,2	24,2

В очагах пилильщика-ткача в Карачижском отделе в кв. 68 преобладает объедание крон личинками среднее, преимущественно верхней и средней частей крон, что соответствует экологическим предпочтениям вида вредителя. Однако по границе с полосой отвода ЛЭП на площади около 0,3 га отмечено полное объедание крон деревьев. Аналогичная картина отмечается и в очаге объедания, сформировавшемся в кв.78.

Основными причинами возникновения очага размножения пилильщика ткача в Карачижском отделе явилась рубка трассы ЛЭП, при которой темновая хвоя сосны не успела заместиться световой, повышенные температуры воздуха и падение уровня грунтовых вод, что ослабило насаждения и сделало их благоприятной кормовой базой для вредителей.

В начале июня 2019 года началось восстановление крон деревьев за счет появления текущего прироста хвои, но восстановление произошло не более чем на 20%, появился свежий сухостой, несколько превышающий уровень текущего естественного отпада.

Учеты запаса вредителя в почве отражены в таблице 9.

Таблица 3

Учет личинок пилильщика-ткача в почве в очаге объедания в кв.68

Номер модельного дерева	Степень объедания	Размер учетной площадки, м ²	Количество эонимф, шт/ м ²	Количество пронимф, шт/ м ² /%	Количество коконов паразитоидов, шт/м ²
1	среднее	0,3	254	13/5,2	-
2	сильное	0,2	155	20/12,9	5
3	среднее	0,39	119	9/7	3
4	среднее	0,36	93	12/11,4	-

В 2019 году популяция пилильщика находится в фазе вспышки, но большая часть личинок находилась в диапаузе в среднем 92 %. С учетом объедания в предыдущий год, прогнозируется объедание насаждения не более 28-30%.

Необходимо ведение надзора за состоянием численности вредителя в почве, так как объедание насаждения напрямую будет зависеть от доли реактивирующихся эонимф ткача.

Таким образом для популяций пилильщика-ткача в насаждениях зеленой зоны г. Брянск характерны различия в динамике численности: на более высоких элементах рельефа в Фокинском участковом лесничестве популяция развивается по типичной однолетней генерации, а в более свежих и пониженных условиях в Карачижском отделе Учебно-опытного и Крыловском – по многолетней с длительной диапаузой. Условия местообитания необходимо учитывать при назначении мероприятий и ведении мониторинга популяций ткача.

На территории Учебно-опытного лесничества очаги размножения звездчатого пилильщика-ткача увеличивают в последние годы численность и воздействие на древостой, площади участков объедания растут, особенно в чистых сосняках в условиях В2, С2, С3, расположенных на повышенных элементах рельефа. Для каждой популяции характерна своя динамика. В отличие от популяции пилильщика в Фокинском участковом лесничестве, популяции в Крыловском и Карачижском отделах имеют большую долю диапаузирующих особей в почве и объедание крон деревьев, а следовательно и ослабление и увеличение текущего отпада напрямую зависит от доли реактивирующихся зимующих особей.

Для прогнозирования степени объедания крон древостоя необходимо проводить обследование запаса личинок в почве минимум два раза в год.

Расширение очагов хвоегрызущих вредителей сосны и переход в категорию «вредители» ранее не дававших в Брянской области очагов звездчатого пилильщика-

ткача отражает снижение устойчивости насаждений и диктует необходимость повышения качества лесопатологического мониторинга, своевременного проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в очагах размножения филлофагов для повышения биологической устойчивости насаждений и мероприятий по снижению численности вредителей.

Для снижения численности вредителей и оздоровления насаждений в очагах размножения необходимо проведения комплекса мероприятий, включающих санитарно-оздоровительные мероприятия (СОМ) в виде выборочных санитарных рубок, в качестве профилактических мер рекомендуется снижение доли однопородных сосновых насаждений в лесничестве, посев нектароносов для привлечения и увеличения численности паразитических перепончатокрылых.

В качестве истребительных мер борьбы можно рекомендовать обработку подстилки в очагах размножения контактными пиретроидными препаратами, неоникотиноидами (в 2017 году проведены опытные обработки подстилки препаратом «Зубр» на основе имидаклоприда, получена смертность личинок звездчатого ткача выше 55%) [1] и ингибиторами синтеза хитина (обработка крон во время питания личинок) - в настоящее время к применению рекомендованы ингибиторы из группы бензоилфенилмочевин – препараты на основе дифлубензулона и люфенулона, обладающие инсектицидным действием. Препараты характеризуются высоким уровнем биологической активности и безопасностью для окружающей среды.

1. Алдушина Т.В. Биология и лесопатологическая приуроченность звездчатого пилильщика - ткача в Брянской области // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная.- БГИТА, 2017.- с. 4-8.
2. Гниненко Ю.И., Серый Г.А., Бондаренко Е.Ю. Звездчатый пилильщик – ткач: вредоносность, лесопатологические обследования в очагах и меры защиты. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. – 60с.
3. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов в Российской Федерации в 2015 году и прогноз на 2016год. (Часть 1- 4) – Пушкино: ЦЗЛ. – 2016.
4. Шершнева И.В., Либерман А.А., Кравцова К.В. Изучение очага массового размножения звездчатого пилильщика ткача *Lyda nemoralis* thoms в сосняках гку брянской области «учебно-опытное лесничество» // Сборник научных трудов. Актуальные проблемы лесного комплекса, сельское и лесное хозяйство. Брянск: БГИТА.- 2012. – №31. – С.124-126.
5. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Брянской области за 2016 год и прогноз на 2017 год. – Калуга: ЦЗЛ. – 2017. - 201 с.
6. Шелуха В.П., Прилепова О.Ю. Роль хвоегрызущих вредителей как биоиндикатора изменения состояния лесов/ Актуальные вопросы техники, науки, технологий: сборник научных трудов национальной конференции 05-09 февраля 2019 г./ Под общ. ред. Е.Г. Цубловой. Брянск, Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. 2019. – 100-105 с.

РАЗДЕЛ X. БИОТЕХНОЛОГИИ

Сонис А.Г., Алексеев Д.Г., Безрукова М.А., Манцагова С.А.

Роль и место системных мероприятий в комплексном лечении пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями пальцев кисти и стопы

*ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации»
(Россия, Самара)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-21

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-21

Аннотация

В статье представлена информация об основных системных мероприятиях, таких как противомикробная терапия, профилактика специфической хирургической инфекции, коррекция локальной перфузии и медицинская реабилитация, эффективно дополняющих хирургическое лечение гнойно-воспалительных заболеваний пальцев кисти и стопы (панариции, абсцессы и флегмоны пальцев стопы). Описаны основные принципы применения системных мероприятий, их роль и место в комплексном лечении пациентов с профильной нозологией.

Ключевые слова: Панариций, абсцесс, флегмона, хирургическое лечение, противомикробная терапия, профилактика столбняка, коррекция микроциркуляции, физиотерапия.

Abstract

The article provides information about the main systemic measures, such as antimicrobial therapy, prevention of specific surgical infections, correction of local perfusion and medical rehabilitation, which effectively complement the surgical treatment of purulent-inflammatory diseases of the fingers and toes (panaritium, abscesses and phlegmon of the toes). The basic principles of the application of systemic measures, its role and place in the complex treatment of patients with specialized nosology are also described.

Key words: Panaritium, abscess, phlegmon, surgical treatment, antimicrobial therapy, tetanus prophylaxis, microcirculation correction, physiotherapy.

Гнойно-воспалительные заболевания пальцев кисти и стопы, к коим относятся панариции, а также абсцессы и флегмоны пальцев стоп, являются частным случаем хирургической инфекции. Основным методом лечения указанных заболеваний является оперативное вмешательство, заключающееся в санации гнойного очага. На современном этапе хирургическое вмешательство эффективно дополняется целым комплексом системных мероприятий, являющихся важными компонентами комплексного подхода к лечению профильных пациентов.

Согласно действующим порядкам лечения и клиническими рекомендациям, наличие у пациента хирургической инфекции в варианте гнойно-воспалительных заболеваний, является показанием к проведению системной противомикробной терапии – этиотропной основе комплекса лечебных мероприятий.

Значение противомикробной терапии в лечении хирургических инфекций сложно переоценить. В конце XX, начале XXI века, за счет внедрения в широкую клиническую практику принципов доказательной медицины удалось сформулировать основные принципы использования противомикробных препаратов при лечении пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями. Указанные правила

распространяются на клинические эпизоды панарициев, а также абсцессов и флегмон пальцев стопы и могут быть сформулированы следующим образом:

- использование противомикробных препаратов при установленном и подлежащем санации очаге хирургической инфекции имеет вспомогательное (после хирургической обработки) значение;
- выбор схемы противомикробной терапии носит, в основном, эмпирический характер, базируясь на данных о локализации процесса, тяжести состояния больного, данных локального эпидемиологического мониторинга;
- при наличии признаков системной воспалительной реакции у пациентов с хирургической инфекцией использование противомикробных препаратов является обязательным;
- при отсутствии признаков системной воспалительной реакции необходимость использования противомикробных средств определяется наличием и характером возможной сопутствующей патологии (сахарный диабет, гормонально – зависимая бронхиальная астма и т.д.).

Применительно к существующей на настоящий момент времени клинико-эпидемиологической ситуации, в абсолютном большинстве эпизодов старт противомикробной терапии, в день обращения пациента с гнойно-воспалительными заболеваниями пальцев за медицинской помощью, основывается на эмпирическом подходе. Данное обстоятельство подразумевает использование схем приема профильных препаратов при соответствующей нозологии и неустановленном возбудителе с учетом рекомендаций медицинской литературы (лекарственные формуляры) и действующих порядков лечения.

Препаратами выбора, в таких случаях, будут являться бета-лактамы антибактериальные средства, устойчивые к действию пеницилиназ. В то же время, достоверных различий в клинической эффективности пенициллиназоустойчивых и ингибиторозащищенных пенициллинов, а также цефалоспоринов и оксазолидинонов, по сравнению с их незащищенными вариантами, применительно к эпизодам гнойно-воспалительных заболеваний пальцев не описано. Клиническая эффективность препаратов бета-лактамов ряда у профильных пациентов составляет свыше 70%.

Если же хирургическое вмешательство по поводу гнойно-воспалительных заболеваний пальцев кисти и стопы проводится у лиц, находившихся до этого в стационаре в течение 5–7 и более дней и/или получавших ранее антибактериальные препараты, в операционных ранах с большой долей вероятности будут присутствовать нозокомиальные штаммы *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacteriaceae*.

При выявлении таких микроорганизмов современные лекарственные формуляры рекомендуют использование антибактериальных препаратов, активных в отношении *Staphylococcus aureus* (как метициллин-чувствительных так и метициллин-резистентных) и *Pseudomonas aeruginosa*. Первая группа препаратов включает в себя оксациллин, ванкомицин, линезолид. Ко второй группе можно отнести карбапенемы, цефеперазон/сульбактам, цефтазидим, цефепим, амикацин.

Для того, чтобы системная антибактериальная терапия инфекций, вызванных указанными возбудителями, была максимально направленной и адекватной, принципиально важно иметь данные мониторинга о распространенности и характере резистентности нозокомиальных возбудителей в конкретных стационарах и хирургических отделениях. Более того, на современном этапе принят за аксиому тезис о том, что воздействие на возбудителей должно быть направленным и рациональным.

Направленность реализуется путем назначения лекарственных препаратов или их комбинаций исключительно по результатам микробиологических исследований

материала из очага инфекции, в результате которых определяются микробный состав и чувствительность возбудителей. Для микробиологического анализа забор материала производят, в таких случаях, интраоперационно и уже с учетом полученных результатов, при необходимости, осуществляют коррекцию стартовой эмпирической противомикробной терапии. При этом индикацию микрофлоры с определением ее чувствительности оптимально производить в автоматических бактериологических анализаторах, в том числе использующих технологию MALDI-TOF и выдающих необходимые результаты в течение 24 часов.

Рациональность противомикробной терапии обеспечивается ранним стартом (в день обращения) и выбором адекватного режима применения профильных лекарственных препаратов с учетом индивидуальных особенностей пациента, а именно возраста, сопутствующей патологии, аллергологического анамнеза и т.д.

Еще одним важным моментом, обеспечивающим рациональный режим применения противомикробных препаратов, является выбор оптимального пути их введения в организм. Такими путями являются пероральный, внутримышечный и внутривенный. На сегодняшний день не существует ни одного клинического исследования, корректного по своему дизайну, где достоверно была бы подтверждена более высокая эффективность альтернативных путей введения антибактериальных средств (внутриартериальный, эндолимфатический, внутрикостный, местный).

Кратность введения и дозировка противомикробного препарата определяются его фармакокинетикой и фармакодинамикой, а также индивидуальными особенностями пациента. Длительность курса направленной антибиотикотерапии при комплексном лечении хирургических инфекций, в том числе панарициев, а также абсцессов и флегмон пальцев стопы, контролируется контрольными микробиологическими исследованиями материала. Продолжающаяся в послеоперационном периоде лихорадка, лейкоцитоз не могут являться показаниями для пролонгации курса приема препаратов. В подобных ситуациях необходимо задуматься о неадекватно проведенной хирургической санации гнойного очага. Появление лихорадки в более поздние сроки, вкупе с гиперемией, отеком и болями в области операции, является свидетельством развития вторичной раневой инфекции. И в том и в другом варианте необходимо повторное хирургическое вмешательство, поскольку противомикробная терапия не способна в одиночку справиться с хирургической инфекцией в стадию гнойно-некротического воспаления.

Пролонгируя курс приема противомикробных препаратов и пренебрегая активной хирургической тактикой, врач может пропустить развитие тяжелых инфекционных осложнений, в частности – глубоких, некротических форм гнойно-воспалительных заболеваний пальцев кисти и стопы, которые потребуют, в дальнейшем, более сложного и дорогостоящего лечения. К негативным последствиям неоправданно длительного приема противомикробных препаратов можно также отнести формирование резистентных штаммов возбудителей и проявление побочных и токсических эффектов применяемых средств.

Важнейшим консервативным элементом в комплексе лечебных мероприятий у пациентов с гнойно-воспалительными поражениями пальцев, развивающихся вследствие первичной микротравмы, является специфическая экстренная профилактика столбняка, в соответствии с приказом Минздрава России № 174 от 17.05.1999 «О мерах по дальнейшему совершенствованию профилактики столбняка».

Для экстренной профилактики этой тяжелой специфической инфекции используют следующие иммунные препараты:

- АС – 1 мл (20 ЕД. столбнячного анатоксина).
- АДС–М – 1 мл (10 ЕД. дифтерийного, 10 ЕД. столбнячного анатоксина).
- ПСС – сыворотка противостолбнячная лошадиная очищенная концентрированная жидкая – 3 тыс. МЕ.
- ПСЧИ – противостолбнячный человеческий иммуноглобулин – 250 МЕ.

Экстренная иммунопрофилактика осуществляется у пациентов с панарициями, абсцессами и флегмонами пальцев стоп дифференцировано, в зависимости от предшествующей иммунизации против столбняка, путем системного введения АС-анатоксина или АДС-М-анатоксина (экстренная ревакцинация), либо посредством активно-пассивной иммунизации в варианте одновременного введения АС-анатоксина и противостолбнячной сыворотки (ПСС) или иммуноглобулина (ПСЧИ).

Экстренную иммунопрофилактику столбняка следует проводить как можно раньше и вплоть до 20 дня с момента получения причинной микротравмы, учитывая длительность инкубационного периода при заболевании столбняком.

У части пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями пальцев кисти и стопы на фоне сопутствующей патологии, например, синдрома Рейно, сахарного диабета (синдром диабетической стопы), облитерирующего атеросклероза, отмечается снижение перфузии тканей, в наибольшей степени выраженная в дистальных отделах конечностей и, в первую очередь, в пальцах стоп.

Локальная ишемия тканей и метаболический ацидоз, имеющиеся у данной категории пациентов, в послеоперационном периоде усугубляются вследствие спазма и тромбирования мелких артериол, развивающихся под воздействием операционной травмы. Вышеуказанные обстоятельства создают условия для дальнейшей персистенции и размножения микробных агентов и, как следствие, развития инфекционных и некротических осложнений в глубжележащих тканях и проксимальных отделах конечностей. Воспаление и некроз прогрессируют, формируется порочный замкнутый круг. В медицинской литературе описаны ситуации, когда подкожный панариций или вросший ноготь осложнялись гангреной конечности и хирургическим сепсисом.

Компенсация дистальной гипоперфузии достигается, в комплексе лечебных мероприятий, путем медикаментозной коррекции состояния микроциркуляторного звена, которая включает в себя следующие мероприятия:

- назначение медикаментов, снимающих спазм мелких артериол - миотропных спазмолитиков (папаверин, дротаверин);
- применение препаратов, ингибирующих агрегацию тромбоцитов и эритроцитов - антиагрегантов (дипиридамол, клопидогрел, пентоксифиллин);
- использование прямых антикоагулянтов (гепарин натрия, эноксапарин натрия), которые тормозят появление нитей фибрина, препятствуют тромбообразованию и способствуют прекращению роста уже возникших тромбов, усиливая воздействие на тромбы эндогенных фибринолитических ферментов;
- создание умеренной гемодилуции посредством инфузионной терапии.

В дальнейшем, с целью реабилитации и ускорения репаративных процессов в послеоперационном периоде, пациентам с гнойно-воспалительными заболеваниями пальцев кисти и стопы, показано физиотерапевтическое лечение. Физиолечение, как и лекарственная терапия, подбирается индивидуально, в зависимости от основного заболевания и особенностей организма пациента. Применительно к гнойно-воспалительным заболеваниям пальцев кисти и стопы, при отсутствии противопоказаний, как со стороны сопутствующих заболеваний (ишемическая болезнь сердца, нарушения ритма и проводимости, злокачественные опухоли), так и возможных осложнений патологического процесса (гангрена, сепсис), находят применение нижеследующие физические факторы и соответствующие им методы лечения: электролечение, светолечение, водолечение, тепловое лечение, лечение с применением механических воздействий – всего более десяти различных направлений. Каждое из них включает в себя ряд лечебных методов, основанных на использовании того или

иного физического фактора. Физиотерапия эффективно дополняет хирургическое и медикаментозное воздействие.

1. Зарубина Е.Г. Изменение параметров микроциркуляции под воздействием ТЭС-терапии / Е.Г. Зарубина, Ю.Э. Шалдыбина, И.О. Прохоренко // Вестник современной клинической медицины. - 2018. - Т. 11. - № 3. - С. 20-26.
 2. Ибрагимова Е.А. Физическая реабилитация пациентов, перенесших травмы дистальных отделов верхних конечностей, с использованием аппарата ARTROMOT-F / Е.А. Ибрагимова [и др.] // Здравоохранение Югры: опыт и инновации. - 2018. - № 3 (16). - С. 21-24.
 3. Крайнюков П.Е. Эмпирический выбор антимикробной терапии при гнойных заболеваниях кисти / Крайнюков П.Е. // Военно-медицинский журнал. - 2017. - Т. 338. - № 3. - С. 29-36.
 4. Acute finger-tip infection: Management and treatment. A 103-case series / F. Rabarin, J. Jeudy, B. Cesari, A. Petit // Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2017. – Vol. 103. - № 6. – P. 933-936.
 5. Carmès S. Infecciones de la mano y de los dedos / S. Carmès, J.-R. Werther, C. Dumontier // EMC - Aparato Locomotor. – 2018. – Vol. 51. - № 3. – P. 1-23.
-

РАЗДЕЛ XI. МАТЕМАТИКА

Гузевич С.Н.

Соблюдение аксиоматики Евклида - условие достоверности измерений

АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»
(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-22

idsp: sciencerussia-10-04-2020-22

Аннотация

В статье показано, что целью аксиоматики Евклида являлась методика описания материи. Евклид определениями излагал понятия – элементы отображения материи, постулатами определил средства их отображения (парную систему координат), а аксиомами - операционные действия, используемые в ней. Аксиоматика Евклида опирается на законы сохранения энергии и равновесия, чем не обеспечены в настоящее время другие измерения в других системах координат. Достоверное линейное описание параметров сферических поверхностей обеспечивается при измерении секторов, в которых геометрические и физические параметры объектов вычисляются по угловым приращениям, оцениваемых по длине хорд их замыкающих.

Ключевые слова: аксиома, постулат, аксиоматика, точка, плоскость, образ объекта, время, достоверность.

Abstract

The article shows that the goal of Euclidean axiomatic was to describe matter. Euclidean definitions outlined the concepts - elements of the display of matter, defined by postulates the means of their display (pair coordinate system), and axioms - the operational actions used in it. The Euclidean axiomatic is based on the laws of conservation of energy and equilibrium, which are not currently provided for other measurements in other coordinate systems. A reliable linear description of the parameters of spherical surfaces is provided when measuring sectors in which the geometric and physical parameters of objects are calculated by angular increments estimated by the length of the chords of their closures.

Key words: axiom, postulate, axiomatic, point, plane, image of an object, time, reliability.

1. Состояние вопроса

Около 300 г. до н. э. греческий математик Евклид из Александрии собрал и детально обосновал правила геометрии в труде «Начала», включающее 13 книг. В нем он представил комплект определений, **постулатов, аксиом**, теорем и математических доказательств, ставших основой геометрии, как научной дисциплины. Создавая свой учебник, Евклид включил в него многое из того, что было создано его предшественниками. Евклид обучался в Древней Греции у Платона, обучавшего и Аристотеля. Сам же Платон обучался у Сократа. Ведущие астрономы, геометры и моряки этого периода использовали подзорные трубы, телескопы, астролябии, измерения в которых выполнялись в проективной системе координат. Точность их измерений обеспечивала решение практических задач. Греческим геометрам были не известны физические законы, хотя они описывали физические процессы, например, оптические, без которых геометрия невозможна. Но их аксиоматика относится только к

геометрии, хотя она успешно использовалась при описании взаимодействий планет, в которых использовались законы геометрического среднего [1-5].

В 17-18 веках влияние монизма религии, а также практика использования оптических измерительных средств и прямых измерений с использованием теоремы Пифагора обеспечивали необходимую точность измерений объектов, показывая целесообразность использования единичных измерительных приборов. В это время ведущие геометры использовали аксиоматику Евклида для обоснования геометрических систем Евклида, Лобачевского, Римана основанных на проективной геометрии. В их понимании содержание «Начал» отраженное в современных учебниках высшей математики, как постулаты Евклида, которые включают: 8 аксиом связи, 4 аксиомы порядка, 5 аксиом конгруэнтности, 2 аксиомы непрерывности и 1 аксиому параллельности.

Исаак Ньютон также базировал свои доказательства, используя эти же понятия **аксиом**, и также не дал им определения. Впоследствии эти понятия, постулаты и аксиомы широко использовались математиками и физиками. Разные ученые выдвигали различные требования к постулатам и аксиомам: так, Аристотель считал характерным свойством аксиом общепризнанность, Декарт – очевидность, Паскаль – недоказуемость. Приведем основные общепринятые определения, относимые к этим понятиям:

1. *Аксиома - бесспорная, не требующая доказательств истина; отправное, исходное положение какой-либо теории, лежащее в основании доказательств других положений этой теории, в пределах которой оно принимается без доказательства.*
2. *Аксиома – очевидное утверждение, не требующее экспериментальной проверки и не имеющее исключений.*

Аксиоме опровержение не грозит принципиально. Если аксиома опровергаема, значит это не аксиома, а гипотеза.

Более сложное положение возникло с постулатом. В Словаре русского языка [6] понятие «Постулат» представлены следующим образом:

1. **Постулат – исходное положение, принимаемое без доказательств.**
Канарёв Ф.М. предложил [3] более широкую трактовку определения постулата;
2. **Постулат – неочевидное утверждение, достоверность которого доказывается только экспериментальным путем или следует из экспериментов.**

Главное, что следует из приведённых определений понятий «Аксиома» и «Постулат» - отсутствие однозначности этих определений и схожесть функций, реализация которых приписана этим понятиям, но целью этих действий являлось обеспечение однозначности выполняемых действий, которые без доказательства служат условием достоверности измерений. На изложенные в «Началах» постулаты и аксиомы опираются все математические дисциплины, развившиеся из геометрии.

Рассмотрим *аксиоматику (постулаты и аксиомы)* Евклида в трактовке, которую использовали его современники. После определения основных понятий: точка, линия, прямая линия, поверхность, угол, обеспечивающих описание проекций различных геометрических фигур, Евклид приводит новые понятия *постулаты* и *аксиомы*, не определяя само их понятие [1]:

1. *между двумя точками (измерителями) можно провести только одну прямую линию;*
2. *ограниченную прямую можно неограниченно продолжать в обе стороны;*
3. *из всякого центра и всяким раствором циркуля можно описать круг;*

4. *все прямые углы равны между собой;*
5. *если прямая, падающая на две прямые, образует сумму внутренних углов, равную двум прямым углам, то продолженные эти прямые неограниченно нигде не встретятся.*

Затем идут понятия аксиом:

1. *Равные одному и тому же, равны между собой.*
2. *И если к равным прибавляются равные, то и целые будут равны.*
3. *И если от равных отнимаются равные, то остатки будут равны.*
4. *И если к неравным прибавляются равные, то целые будут не равны.*
5. *И удвоенные одного и того же равны между собой.*
6. *И половины одного и того же равны между собой.*
7. *И совмещающиеся друг с другом равны между собой.*
8. *И целое больше части.*
9. *И две прямые не содержат пространства».*

Во времена Евклида основной методической основой измерений являлся метод центрального проектирования и проективная система координат. Можно предположить, что отличия в названии этих понятий, служат основой (необходимым и достаточным условиями) для их совместного использования, как общей методики построений системы координат и измерений в ней. И для этого имеются достаточно конкретные обоснования, так как постулаты включают только математические понятия для построения и описания, то есть средства для построения системы координат и образов объектов, а аксиомы – математические операции, которые необходимо выполнять в ней с образами объектов. При этом первый пункт постулата говорит о **точках**, которых нет ни в одном другом пункте, они могут являться точками прохождения лучей или оптическими измерителями. Тогда все последующие постулаты и аксиомы описывают парную проективную систему координат, являющуюся аналогом зрительных измерений. Аксиоматика Евклида является методикой, включающей методические средства для описания объектов и построения систем координат и основные операционные действия, которые необходимо выполнять с проекциями объектов на их осях.

Третий постулат служит для описания времени и сферического пространства, связанного с ним. Сферическое пространство может быть описано линейной функцией - радиусом, действия с которыми описаны аксиомами Евклида. Радиус служит условием для выполнения описания сферы, а выделения центра деления учтено аксиомой деления отрезка.

Четвертый постулат обеспечивает условия построения парных систем координат, где ортогональность положения объекта не обеспечивается построением, а устанавливается по косвенным фактам. Ортогональность в парных системах координат обеспечивается по выполнению косвенных действий, например, по условию ортогональности касательной к радиусу сферы, по кратчайшему расстоянию на плоскости между точкой и прямой, по равенству двух проекций одного объекта в угле наблюдения парной системы координат и так далее. Именно поэтому все прямые углы равны, хотя это внешне и тривиально.

Пятый постулат обеспечивает условия построения в пространстве параллельных линий, используя свойство ортогональности.

Споры ученых о корректности формулировки пятого постулата Евклида явились следствием отсутствия определений понятий «постулат» и «аксиома» [7,8]. Последующие определения этих понятий уже не приобрели в сознании ученых ту значимость, которая была бы им придана, если бы они были в «Началах» Евклида.

При этом аксиомы Евклида однозначно указывают, что математические операции по осям в системах координат должны носить аддитивный характер. Единственным недостатком аксиоматики Евклида является отсутствие аксиом на описание времени, как сферической поверхности, указанной в 3 постулате. Но во времена Евклида поля были не известны. Поэтому в аксиомах отсутствует условие выделения сферической поверхности, как секторного элемента ее измерений.

Одновременно аксиомы указывают, что для измерений можно использовать любую нормированную величину, принимаемую за постоянную, отображаемую на осях координат. Это может быть, как линейный размер объекта, расположенный горизонтально или вертикально, или длина волны или частота полевого параметра. При этом Евклид ввел и единую меру описания времени и пространства, используя для времени размер радиуса сферы, где заложена и возможность деления пространства на внутреннее и внешнее. Это впоследствии «открыли» Ньютон, Кулон и другие ученые как свойства полей.

Таким образом, аксиоматика Евклида заложила основы метрологии измерений на основе сравнения, которые обеспечивают достоверное и аналитически точное измерение вещественных и полевых объектов в пространстве, описываемое линейными функциями [9]. Измерения выполняются с помощью измерений секторов, заключенных между точками, формирующими базу парной проективной системы координат, в которой измерения по осям координат выполняются аддитивно. Именно поэтому Евклид и назвал свою книгу «Начало», в которой его аксиоматика, построенная на парности измерительных средств, обеспечивает необходимость и достаточность точных измерений.

Конечно, это все заявления о возможностях использования аксиоматики Евклида, которые открывают истинные законы природы, но не их доказательство. Эти свойства аксиоматики Евклида не поняты еще и в настоящее время. Это связано с влиянием общепринятых понятий при широком использовании моноизмерителей и отсутствия требуемой разрешающей способности измерений, которая достигается только в парной системе координат. Попытаемся обосновать возможность построения системы координат, основанной на аксиоматике Евклида при использовании измерений секторов, в которых геометрические и физические параметры объектов выполняется по угловым приращениям, а их вычисления – по линейным зависимостям.

2. Использование секторных измерений сферических объектов

Сферическая форма объектов и их полей в окружающем нас пространстве является преобладающей. Все объекты на расстоянии отображаются и измеряются с помощью их полей. При этом поля касаются поверхности объектов не зависимо от их формы в особых точках – углах, обеспечивая их неразрывную связь. Поэтому задача измерений объектов, имеющих сферическую форму, является основной в обеспечении условий достоверности и точности описаний их взаимодействия в пространстве. Достоверность измерений сферических полей будет обеспечиваться, если они будут описываться, как и геометрические объекты - линейными зависимостями.

Измерение сферических объектов [10] можно реализовать только по измерениям линейных параметров секторов, связанных с их радиусом и замыкающими хордами, отображаемыми на плоскостях измерений парной проективной системы. Для измерения секторов сферы их необходимо связать с секторами измерительной системы, связанными с касательными к поверхностям сфер через их радиусы.

Секторные измерения при обеспечении их линейности являются основой достоверного описания размеров объектов их физических полей и времени в пространстве. Поэтому секторные измерения должны иметь твердую аксиоматическую основу, построенную на основных общеизвестных законах:

- Все сферические поля замкнуты. Математическое ожидание суммы их полей на осях координат равно нулю.
- Излучаемый потенциал в секторе на плоскости измерений не зависимо от расстояния является постоянной величиной.

Первая аксиома не требует пояснений, так как является отражением закона сохранения энергии. Вторая аксиома является отражением закона равновесия, который известен для гравитационного поля, но не известен для любых полей. Она также следует из закона сохранения энергии, так как сумма секторных сечений формы объекта и его любого поля являются замкнутыми фигурами. Сумма их сторон и потенциалов по замкнутому контуру равна нулю.

На рис.1 показан объект сферической формы с центром в точке O , характеризуемый радиусом r_1 . Сферический сектор объекта наблюдается из точек **1** и **2**, связывающей центр сектора и эти точки, расположенных на оси Y . Точки являются сферическими объектами малых размеров, например r_2 . Сферический сектор имеет горизонтальную и вертикальную проекции. Касательные R_1 и R_2 , проведенные из точек **1** и **2**, ортогональны радиусу r_1 проведенному в точки касания. В результате на объектах образуются парные сектора, состоящие в плоскостном отображении из 4 прямоугольных треугольников, связанных отношениями подобия и геометрического среднего, выделенных оттенками цвета.

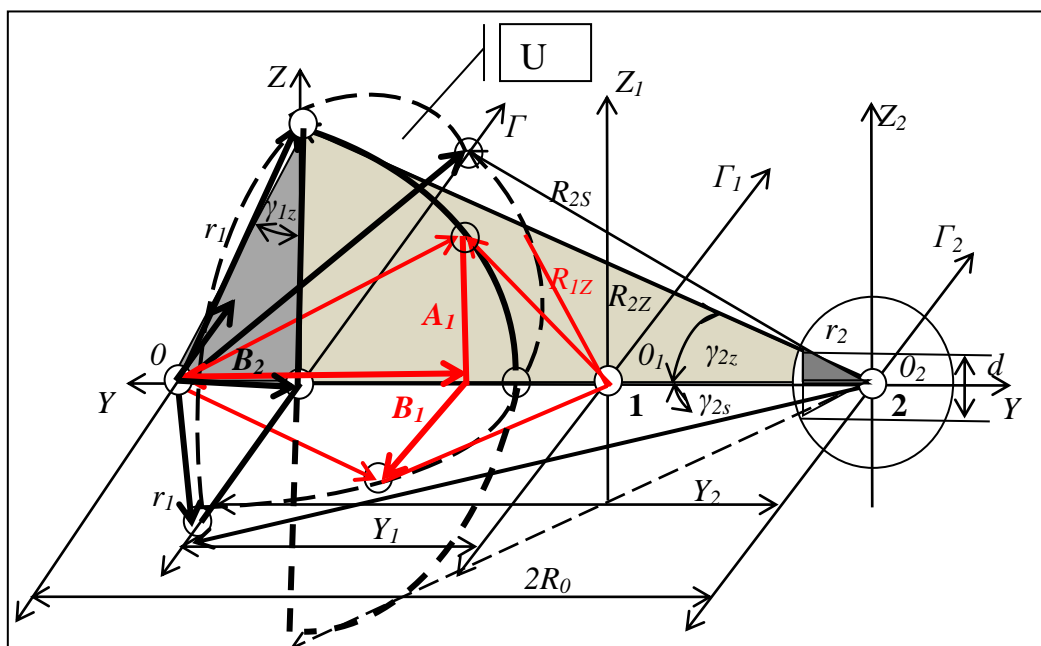


Рис.1. Взаимодействие полей объектов сферической формы

Размеры этих 4 треугольников связывают расстояние между центрами объектов $2R_0$ и все их размеры. Достаточно знать размер только одной стороны и размер угла, для описания всех размеров. Пространственный сектор описывается парой ортогональных плоскостных секторов, в которых ортогональные стороны связаны общими сторонами.

Пространственный сектор описывается двумя плоскостными проекциями углов γ_s и γ_z , показанных на рис.1 только для измерителя **1**, считая для упрощения выводов их равными. При этом все проекции в секторе измерителя уменьшены относительно наблюдаемых на объекте пропорционально отношению их размеров, что позволяет результаты измерений отраженных в измерителе линейно трансформировать в размеры объекта.

Касательные на плоскости к сферической поверхности выделяют на сфере плоскостные сектора, связанные с двумя ортогональными хордами A и B , являющимися составляющими вектора излучения. Поле между объектами распространяется по направлению луча, имея ширину пропорциональную радиусам объектов и ортогональных его направлению. Поэтому луч на плоскости измерений U имеет две составляющих, одна из которых характеризует его проекцию на ось Z пропорциональную хорде A , а другая проекцию его ширины на ось Γ пропорциональную хорде B . Хорда $A = 2Y_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma_Z$, а хорда $B = 2Y_1 \cdot \operatorname{ctg} \gamma_Z$, а их произведение не зависит от отстояния объектов $U = A \cdot B = \operatorname{const}$ и являются постоянной величиной, изменяя при увеличении отстояния только соотношение составляющих. По инверсиям составляющих потенциала U на различных отстояниях Y_1, Y_2 могут быть оценены расстояния между объектами по разности проекций параллельных хорд, которые связаны с расстоянием между точками **1** и **2**. Отношение сторон поверхности на плоскости измерений U будут характеризовать отстояния двух объектов Y_1 и Y_2 , тогда:

$$U_1 = U_2 = A_1 \cdot B_1 \quad ; \quad A_1 \cdot B_1 = A_2 \cdot B_2 \quad .$$

$$A_1 = R_1 \sin \gamma_1 = r_1 \cos \gamma_1 = R_0 \sin 2\gamma_1 \quad ;$$

$$A_2 = R_2 \sin \gamma_2 = r_2 \cos \gamma_2 = R_0 \sin 2\gamma_2 \quad ;$$

$$B_1 = R_1 \sin \gamma_1 \operatorname{tg} \gamma_1 = r_1 \sin \gamma_1 = 2R_0 \sin^2 \gamma_1 \quad ;$$

$$B_2 = R_2 \sin \gamma_2 \operatorname{tg} \gamma_2 = r_2 \sin \gamma_2 = 2R_0 \sin^2 \gamma_2 \quad ;$$

Оставим только зависимости уменьшающие количество неизвестных:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad ; \quad \frac{B_1}{B_2} = \frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_2} \quad ; \quad \frac{A_1}{B_1} = \operatorname{ctg} \gamma_1 = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma_1} = \frac{\sin 2\gamma_1}{2\sin^2 \gamma_1} = \frac{\cos \gamma_1}{\sin \gamma_1} \quad ;$$

$$A_1 - A_2 = R_0 (\sin 2\gamma_1 - \sin 2\gamma_2) \quad ; \quad B_1 - B_2 = 2R_0 (\sin^2 \gamma_1 - \sin^2 \gamma_2) \quad ;$$

В результате получаем новую зависимость, отражающую связь радиусов объектов r_1 и r_2 с расстоянием между ними $2R_0$ и новой постоянной их взаимодействия, названной базой парной системы – d . Вывод аналитической зависимости, связывающей их, приведен в работах автора [11-19]:

$$d = \frac{r_1 \cdot r_2}{2R_0}$$

Главный вывод, который следует из полученных зависимостей – параметры времени и физические параметры полей, описываемые сферическими функциями, могут быть измерены и линейно описаны по отношениям *приращений хорд, замыкающих их*, при изменении угла раскрытия секторов γ или расстояний между ними $2R_0$.

Для обеспечения линейного описания взаимодействия в пространстве сферических объектов по аксиоматике Евклида необходимо использовать парную параллактическую систему координат, к которой необходимо связывать объекты касательными к их поверхностям. При этом измеряемый угол раскрытия парного измерителя оценивается параллактическим углом, опирающимся на базу парной системы d . В ней строятся системы треугольников, связанные подобием и зависимостью геометрического среднего. Эта система координат обеспечивает возможность линейного описания сферических элементов линейными зависимостями. Закон всемирного тяготения является частным случаем использования параллактической системы координат. Эту систему координат использовали современники Евклида для описания астрономических объектов.

Это подтверждает и ежедневная практика: границы объектов выделяются по изменениям градиентов полей, а измерители полей измеряют приращения параметров в границах своих размеров. Эти причины изменяют аналитическое описание процесса измерений.

Заключение

1. Аксиоматика Евклида определила методику построения и использования парной системы координат, обеспечивающей достоверное описание сферических объектов в пространстве – времени.
2. Парная система координат, заданная аксиоматикой Евклида, опирается на законы сохранения энергии и равновесия, что и обеспечивают ей достоверность и точность описания пространства.
3. Физические параметры полей объектов, описываемые сферическими функциями, могут быть измерены и линейно описаны по отношениям *приращений хорд* при изменении углов раскрытия секторов *объектов*.
4. В настоящее время утеряна сущность аксиоматики Евклида:
 - методики измерений сферических объектов и полей;
 - принципа относительности при измерении сферических полей,
 - что исключает возможность достоверных измерений законов природы.
5. Две формы существования материи требуют для их достоверного описания использования парных систем координат, заданных аксиоматикой Евклида.

1. Клайн М. Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984.
2. Понарин Я. П. «Аффинная проективная геометрия» Серия: Математическое просвещение. Издательство: МЦНМО ISBN: 978-5-94057-401-9; 2009 г. – 288с.
3. Канарев Ф.М. Кризис теоретической физики. Третье издание. Краснодар. 1998. 200 с.
4. Канарёв Ф.М. Начала физхимии микромира. Краснодар, 2002. 334с.
5. Источник: <https://school1208.ru/drevnyaya-istoriya/evklid-i-ego-vklad-v-geometriyu.html>
6. Словарь русского языка. В 4-х томах. Издательство «Русский язык». М. 1981.
7. Робертсон Б. Современная физика в прикладных науках. М.: Мир, 1985.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 1. Механика. 5-е изд. — М.: Физматлит, 2004. — 224 с. — ISBN 5-9221-0055-6.
9. Фридман А.Е. Основы метрологии. Современный курс.- С-Пб.: «Профессионал», 2008.- 284с.
10. Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязино, 2006. — 480 с. ISBN 5–85099–168–9.
11. Гузевич С.Н. Условия достоверности навигационных измерений и геометризации их описания // "Метрология" № 2-2019, С.3-12.
12. Гузевич С.Н. «Парная проективная геометрия на постулатах Евклида». Издательство: - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012 - 124 с.
13. Ивлев Л.С., Гузевич С.Н. Структура материи. Монография. СПб ЦНИТ «Астерион» 2017г. 183с.
14. Гузевич С.Н. «О допущениях при построении моделей электромагнитных полей»// «Авиакосмическое приборостроение» 2014, №11, С.38-49.
15. Гузевич С.Н. Описание модельных построений объектов в проективной системе координат. // Прикладная физика и математика 2016, №3. С.43-52
16. Гузевич С.Н. «Поля, объекты, их достоверное отображение, измерение и оценка» // Проблемы исследования Вселенной., т.38, выпуск 1. В свободном доступе с Scisom.ru.
17. Гузевич С.Н. «О достоверности радиолокационных измерений»// «Авиакосмическое приборостроение» 2013, №7, С.34-43.
18. Гузевич С.Н. «О допущениях при измерении электромагнитных полей» // «Авиакосмическое приборостроение» № 11, 2014, С.38-49.
19. Гузевич С.Н., Ивлев Л.С., Геометрия структуры материи. Монография. СПб ЦНИТ «Астерион» 2019г. 161с.

Леонова О.В.

Простейшая модель страхования

Байкальский государственный университет
(Россия, Иркутск)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-23

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-23

Аннотация

В статье рассматривается простейшая модель работы страховой компании, которая строится с помощью центральной предельной теоремы.

Ключевые слова: страховая математика, модели страхования, страховые премии, страховые выплаты, таблицы смертности.

Модели страхования жизни делятся на две большие группы: краткосрочные и долгосрочные. К первой группе относятся модели, в которых не учитывается изменение ценности денег во времени, обусловленное инфляцией и другими факторами. Обычно в качестве временного интервала выбирают 1 год. Если же расчеты осуществляются с учетом возможной инфляции, то модели страхования называют долгосрочными [1].

Пусть денежные суммы (величины) p_1, p_2, \dots, p_n , которые страховые платят страховой компании, будут страховыми премиями.

Величины b_1, b_2, \dots, b_ν , $\nu \leq n$, которые платят страховые компании в результате наступления ν страховых случаев – страховыми выплатами.

Очевидно, что $b_j \gg p_j$ иначе никто страховаться не будет. Купив за p рублей страховой полис, застрахованный избавит себя от риска финансовых потерь, связанных с неопределенностью страхового случая. Этот риск примет на себя страховая компания, для которой риск заключается в случайности иска, который может быть ей предъявлен.

В страховой математике решаются следующие проблемы [2]:

1. Нахождение правильного соотношения между премиями p и выплатами b . Сюда входит расчет нетто-премий, брутто-премий, расчет выплат и т.д. Отметим, что нетто-премии соответствуют нулевой средней прибыли страховой компании.
2. Расчет вероятности разорения, которая служит основой для принятия важнейших решений. Если обозначить через U капитал компании или ее резерв, а через $S = b_1 + b_2 + \dots + b_\nu$ сумму выплат, где b_j – иск j -го страхователя к компании, то вероятность разорения имеет вид $P(S > U)$, а вероятность неразорения $P(S \leq U)$. Очевидно, что $P(S > U) + P(S \leq U) = 1$.
3. Расчет резервов страховой компании.

Решение указанных проблем проиллюстрируем на примере простейшей модели работы страховой компании, построенной с использованием центральной предельной теоремы [3].

Рассмотрим последовательность независимых случайных величин X_1, X_2, \dots, X_n , имеющих математическое ожидание $MX_i = a_i$ и дисперсии $DX_i = \sigma_i^2$. Из них образуем последовательность центрированных и нормированных случайных величин Y_n , $n = 1, 2, 3, \dots$

$$Y_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n a_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - A_n}{B_n}.$$

Согласно центральной предельной теореме при достаточно общих предположениях о законах распределения случайных величин X_i , последовательность функций распределения величин Y_n , ($n \rightarrow \infty$) сходится $\forall n$ к функции $\Phi^*(x)$ стандартного нормального закона

$$F_{Y_n}(x) = P\left\{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - A_n}{B_n} < x\right\} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Рассмотрим следующую идеализированную схему. Пусть в начале года в компании застраховано n мужчин возраста $x = 30$ лет. Будем считать, что каждый платит премию p , то есть компания получила суммарный доход $n \cdot p$, который и будет составлять ее резерв $U = n \cdot p$. Обозначим через $b_i = 1$ иски, предъявляемые к фирме, если в течение года i -й клиент умрет. Воспользуясь таблицами смертности [4], найдем:

$$P(b_i = 1) = q_{30} = 0,00231, \quad P(b_i = 0) = p_{30} = 1 - 0,00231 = 0,99769.$$

Вероятность того, что компания не разорится равна

$$P\left(\sum_{i=1}^n b_i \leq U\right) = P\left\{\frac{\sum b_i - M \sum b_i}{\sqrt{D \sum b_i}} \leq \frac{U - M \sum b_i}{\sqrt{D \sum b_i}}\right\}.$$

Учитывая дискретные случайные величины b_i , $i = \overline{1, n}$, имеем

$$M b_i = 1 \cdot q_{30} + 0 \cdot p_{30} = q_{30} = 0,00231,$$

$$D b_i = 1^2 \cdot q_{30} + 0^2 \cdot p_{30} - (0,00231)^2 = 0,0023047.$$

Так как иски b_i независимы, то $M \sum b_i = \sum M b_i = n \cdot 0,00231$, $D \sum b_i = \sum D b_i = n \cdot 0,0023047$,

$$P\left(\sum_{i=1}^n b_i \leq U\right) = P\left\{\frac{\sum b_i - 0,00231n}{\sqrt{0,0023047n}} \leq \frac{U - 0,00231n}{\sqrt{0,0023047n}}\right\}.$$

Для числа застрахованных $n = 3000$ человек получим

$$P\left(\sum_{i=1}^n b_i \leq U\right) = P\left\{\frac{\sum b_i - 6,93}{\sqrt{6,9141}} \leq \frac{U - 6,93}{\sqrt{6,9141}}\right\} \approx \Phi^*\left(\frac{U - 6,93}{\sqrt{6,9141}}\right).$$

Пусть руководство компанией устраивает вероятность неразорения 0,95, тогда $\Phi^*\left(\frac{U - 6,93}{\sqrt{6,9141}}\right) = 0,95 \Rightarrow \frac{U - 6,93}{2,6294676} = 1,65 \Rightarrow U = 11,269$, следовательно, страховая

компания должна иметь резерв $U = 11,269$, а плата за страховку (премия) должна

составить $p = \frac{U}{n} = \frac{11,269}{3000} = 0,0037563$ часть от иска $b = 1$.

Если $b = 100000$ рублей, то премия составит
 $p = 100000 \cdot 0,0037563 = 375,63$ рубля в год.

Таблица 1

Смертность населения России для календарного года 2018 (мужчины) [4]

Возраст x (полное число исполнившихся лет)	Коэффициент смертности в возрасте x лет	Вероятность смерти $q(x)$ в интервале возрастов от x до $x + 1$	Число доживших до возраста x лет $l(x)$	Число умерших $d(x)$ в возрасте x лет	Ожидаемая продолжительность t_x^o в предстоящей жизни в возрасте x лет
29	0,00542	0,00540	95144	514	36,26
30	0,00628	0,00626	94630	593	35,45
31	0,00643	0,00641	94038	603	34,67
32	0,00691	0,00688	93435	643	33,89
33	0,00695	0,00692	92791	643	33,13
34	0,00755	0,00752	92149	693	32,35
35	0,00787	0,00783	91456	717	31,59

1. Архипов, А.П. Андеррайтинг в страховании: Теоретический курс и прак-тикум: учебное пособие / А.П. Архипов. - М.: Юнити-Дана, 2015. - 240 с.
2. Никулина, Н.Н. Страховой маркетинг: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Финансы и кредит» / Н.Н. Никулина, Л.Ф. Суходоева, Н.Д. Эриашвили. - М.: Юнити-Дана, 2015. - 503 с.
3. Балдин, К.В. Основы теории вероятностей и математической статистики: учеб-ник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков, А.В. Рокосуев; под ред. К.В. Балдина. - М.: Флинта, 2010. - 245 с.
4. The Human Mortality Database. Russia. Life tables by year of death (period), 1959-2018, 1x1, female, male. www.demoscope.ru.

РАЗДЕЛ XII. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ищейкин Г.Ю.

Расчет аэродинамических усилий

Мурманский государственный технический университет

(Россия, Мурманск)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-24

idsp: sciencerussia-10-04-2020-24

Аннотация

Для моделирования движения судна при выполнении сложных маневров в реальных условиях плавания в математическую модель судна требуется ввести параметры, определяющие влияние внешних факторов, одним из которых является ветер. В статье определяется способ математического описания влияния ветра на маневренные характеристики судна. Известно, что ветровая нагрузка на маневрирующее судно постоянно меняется из-за изменения курсового угла кажущегося ветра, следовательно, расчёт аэродинамических коэффициентов при моделировании движения судна должен быть непрерывным и адекватно соответствовать силовому воздействию ветра на судно в процессе выполнения манёвра. Авторами выбрана универсальная методика расчёта аэродинамических коэффициентов, а полученные расчётные зависимости позволяют программно реализовать моделирование любого сложного манёвра судна при непрерывном изменении параметров ветровой нагрузки в процессе его выполнения.

Ключевые слова: судно, аэродинамические коэффициенты, математическое моделирование.

Влияние ветра на параметры маневрирования судна существенно и особенно заметно, если отношение v_a/v скорости ветра v_a и скорости судна v начинает расти и достигает значений значительно превышающих 1,0 [1], [4], [7]. Последствия воздействия ветра на движущееся судно могут быть трудно прогнозируемыми, если судоводитель плохо представляет от чего зависит характер поведения судна в результате аэродинамического воздействия. Учитывая, что большинство ключевых судовых операции обычно выполняются на малых скоростях, т.е. отношение v_a/v достаточно велико, при этом возможны частые переходные режимы движения и движения при неработающем движителе или движение задним ходом, значимость знания судоводителем как аэродинамических характеристик собственного судна, так и общих закономерностей воздействия ветра на управляемость судна резко возрастает.

Аэродинамические усилия

Аэродинамические усилия, подобно гидродинамическим, находятся с помощью аэродинамических коэффициентов C_{xa} , C_{ya} , C_{ma} . При этом основным параметром, который определяет значения аэродинамических коэффициентов, является курсовой угол кажущегося ветра q_R , находящийся в зависимости от скорости v_a и курсового угла q_a истинного ветра, а также курса ψ и скорости судна v . Формулы, определяющие скорость v_R и курсовой угол кажущегося ветра q_R получаются суммированием двух векторов v и v_a , имеют следующий вид:

$$v_R = \sqrt{v_a^2 + v^2 + 2v_a v \cos(q_a)}; \quad (1)$$

$$q_R = \arccos \left[\frac{v + v_a \cos(q_a)}{\sqrt{v_a^2 + v^2 + 2v_a v \cos(q_a)}} \right] - \psi \quad (2)$$

После определения этих двух характеристик можно найти сами аэродинамические усилия, действующие на надводную часть судна:

$$\left. \begin{aligned} X_a &= 0.5C_{xa}\rho_a v_R^2 S_m \\ Y_a &= 0.5C_{ya}\rho_a v_R^2 S_{dp} \\ M_a &= 0.5C_{ma}\rho_a v_R^2 S_{dp} L \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ρ_a – массовая плотность воздуха ($\rho_a = 1,226 \times 10^{-3}$ т/м³);

S_m – площадь проекции надводной части корпуса судна, надстроек и рубок на плоскость мидель-шпангоута;

S_{dp} – площадь проекции надводной части корпуса судна, надстроек и рубок на диаметральною плоскость (ДП);

L – длина судна.

Аэродинамические коэффициенты

Наиболее полный учет архитектурных особенностей надводной части танкера при расчете аэродинамических коэффициентов можно произвести с использованием результатов модельных экспериментов, выполненных Ишервудом [8]. При этом моделируемый танкер не имеет архитектурных особенностей надводной части корпуса, надстроек и рубок, которые не могут быть учтены предложенной Ишервудом расчетной методикой. Суть предлагаемой методики аналитического расчета значений аэродинамических коэффициентов сводится к использованию следующих расчетных зависимостей в которых представлены основные параметры, характеризующие аэродинамические свойства танкера, а именно:

$$\begin{aligned} C_{ax} &= A_0 + A_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + A_2 \frac{2S_m}{B^2} + A_3 \frac{L_{\max}}{B} + A_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + A_5 \frac{l_a}{L_{\max}} + A_6 M; \\ C_{ay} &= B_0 + B_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + B_2 \frac{2S_m}{B^2} + B_3 \frac{L_{\max}}{B} + B_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + B_5 \frac{l_a}{L_{\max}} + B_6 \frac{S_{dp}^{\Sigma}}{S_{dp}} \\ C_{am} &= C_0 + C_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + C_2 \frac{2S_m}{B^2} + C_3 \frac{L_{\max}}{B} + C_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + C_5 \frac{l_a}{L_{\max}} \end{aligned} \quad (4)$$

L_{\max} – максимальная длина танкера;

B – ширина танкера;

S_{dp} – площадь проекции надводной части корпуса танкера, надстроек и рубок на диаметральною плоскость (без учёта относительно тонких выступающих частей, таких как вышки, мачты, стрелы и т. п.);

S_{dp}^{Σ} – площадь проекции надстроек и рубок на диаметральною плоскость;

S_m – площадь проекции надводной части корпуса танкера, надстроек и рубок на плоскость мидель-шпангоута;

P_{dp} – периметр площади проекции на ДП, без учета длины ватерлинии (WL);

l_a – расстояние от носовой оконечности танкера до его центра парусности;

M – количество отдельно стоящих мачт (для моделируемого танкера $M = 0$).

Входящие в выражения (4) шесть коэффициентов A_k , B_k , C_k получены экспериментально для углов кажущегося ветра q_R в диапазоне от 0° до 180° с шагом в 10° .

Расчет параметров, характеризующих основные аэродинамические свойства танкера производится путем сканирования его сечения вдоль ДП с последующей оцифровкой контура надводной части танкера с помощью специальной программы в VB6. Результаты оцифровки в виде файла координат контура используются для подсчета всех необходимых параметров, характеризующих аэродинамические свойства танкера. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры, характеризующие аэродинамические свойства танкера «Архангельск»

	L_{max} , м	B , м	S_{dp}	S_{dp}^{Σ}	S_m	P_{dp}	I_a
В балласте	162	30	1892	372	779	247	89.5

Взяв за основу представленные выше материалы модельных экспериментов, полученные Ишервудом, необходимо определиться с методикой расчета аэродинамических коэффициентов при выполнении компьютерного моделирования.

Предлагаемая методика предусматривает два возможных направления расчета. Первое направление состоит в том, что каждый из индексированных коэффициентов A_k , B_k , C_k ($k = 0 \div 5$) аппроксимируется как функция курсового угла кажущегося ветра q_R . Таким образом формируется 18 формул, представляющих зависимости аэродинамических коэффициентов от курсового угла кажущегося ветра $C_{ax}(q_R)$, $C_{ay}(q_R)$, $C_{am}(q_R)$. Преимущество такого решения состоит в том, что можно проследить в каждом конкретном случае, каким «весом» обладает каждое слагаемое в выражениях (4), и, как следствие, какое влияние это слагаемое оказывает на значение аэродинамических усилий. В результате проведенного анализа в дальнейшем можно универсализировать полученные выражения с целью их использования при моделировании ветрового воздействия на маневрирующий танкер при выполнении тех или иных ключевых судовых операций.

Второе направление расчета сводится к тому, что все слагаемые для заданного значения курсового угла кажущегося ветра рассматриваются одновременно, а затем получают одно аппроксимационное выражение для каждого аэродинамического коэффициента $C_{ax}(q_R)$, $C_{ay}(q_R)$, $C_{am}(q_R)$. Преимущество такого решения в том, что аппроксимирующих формул окажется только три, а также представится возможность определить «вес» каждого слагаемого в рассчитываемом аэродинамическом коэффициенте.

В дальнейшем поэтапно использована комбинация двух указанных направлений. На первом этапе рассмотрены отдельно слагаемые аэродинамических коэффициентов, сделаны из этих расчетов качественные выводы об их соотношениях, но полученные таким образом 18 формул аппроксимации не сохраняются и не используются. На втором этапе для конкретных расчетов при моделировании будем использовать только три аппроксимирующих формулы для коэффициентов C_{ax} , C_{ay} , C_{am} . Все эти вычислительные манипуляции выполним в программной среде MathCad.

Поскольку в настоящее время имеются данные продувок лишь моделей судов наиболее распространенных архитектурных типов [2], [4], [5], [9] мы не можем с высокой степенью вероятности утверждать, что выбранный нами способы определения аэродинамических коэффициентов является универсальными и, что самое главное, адекватно отражают закономерности ветрового воздействия на танкер. И в тоже время, нами выбрана наиболее универсальная методика расчёта аэродинамических коэффициентов, а полученные расчётные зависимости позволяют программно реализовать моделирование любого сложного манёвра судна при непрерывном изменении параметров ветровой нагрузки в процессе его выполнения.

1. Войткунский, Я.И. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость. Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов. -Л.: Судостроение, 1973. 512 с.
2. Гирс, И.В., Аэродинамические характеристики речных судов. И.В. Гирс, А.М. Сарибан. – Л.: Судпромгиз, 1939, № 9
3. Гофман, А.Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. Гофман А.Д. Л.: Судостроение, 1988. 360 с.
4. Девнин, С.И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций: Справочник. С.И. Девнин. Л.: Судостроение, 1983. 320 с.

5. Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов. (Управляемость судов и составов). Учеб. пособие для ин-тов водн. Трансп. В.Г. Павленко. М.: Транспорт, 1979, 184 с.
 6. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания. Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 544 с.
 7. Федяевский, К.К. Управляемость корабля. К.К. Федяевский, Г.В. Соболев. Л.: Судпромгиз, 1963.
 8. Isherwood, R. Wind Resistance of Merchant Ships. TRINA, 1973, vol. 115, p. 327-335.
 9. Martin, L.L. Ship Manoeuvring and Control in Wind. SNAME Tr. 1980, V.88.P.257-281.
 10. Shearer, K.D.A. и Linn W.M. Wind tunnel test on models of merchant ships. NE Coast Inst. of Engrs. and Shipbuilders. 1960, V.76, part 5.
-

РАЗДЕЛ XIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Фазуллин Р.А.

Анализ методов моделирования транспортного потока в рамках построения автоматизированной системы управления трафиком городского транспорта

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
(Россия, Уфа)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-25

idsp: sciencerussia-10-04-2020-25

Аннотация

В связи с высокими темпами роста автомобилизации в России, управление трафиком городского транспорта играет немаловажную роль для обеспечения комфортных условий жизни населения, а также сокращения издержек на логистические операции. Регулярные пробки, обусловленные градостроительными просчетами и несовершенной системой управления, могут привести как к потере материальных ресурсов, так и к потере времени. Снижение негативных влияний на условия движения транспорта в городе можно достичь с помощью градостроительных мер: строительством мостов, тоннелей, новых магистралей. Но такие меры влекут за собой колоссальные материальные и временные потери. Смягчить ситуацию позволяет комплекс мероприятий, связанных с совершенствованием управления транспортными потоками в городе – внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением. Внедрение автоматизированной системы при небольших затратах может повысить эффективность использования городского пространства. Однако, для построения такой системы необходимо правильно выбрать метод моделирования транспортного потока, от которого потом будет точность соответствия автоматизированной модели реальному объекту. В данной статье в рамках создания автоматизированной системы управления трафиком городского транспорта рассматривается классификация методов моделирования транспортного потока по уровню детализации. Методы моделирования потока городского транспорта классифицированы и приведены со ссылками на соответствующие исследования.

Ключевые слова: дорожное движение, городской транспорт, моделирование, классификация, адаптивное управление, автоматизированное управление.

Построение автоматизированной системы оперативного управления трафиком городского транспорта в первую очередь требует рассмотрения объекта управления, действующих систем управления и моделей. Объект управления – это транспортный поток, состоящий из участников дорожного движения – автомобилей, мотоциклов, автобусов и пешеходов. Сложность объекта управления заключается в том, что участники при движении преследуют как общую цель – добраться до места назначения, так и свои частные цели, например, перестроение на другую полосу, временная остановка и др. Объект управления характеризует такие свойства:

- нестационарность;
- стохастичность;
- неполная управляемость;
- большое количество критериев качества управления (транспортная работа, задержка, скорость и т.д.);
- отсутствие способов измерений большинства характеристик качества управления.

В настоящее время уже сформированы основные классы моделей, но отсутствует их универсальная классификация.

Для достижения цели автоматизации в данной статье предложена классификация моделей транспортного потока по уровням детализации систем: макро, мезо, микро-уровни.

Несмотря на сложность объекта управления, моделирование предполагает использование только основных свойств. Ко всем моделям предъявляется требование описывать такие параметры как интенсивность движения, среднюю скорость движения, задержки и потери времени [1].

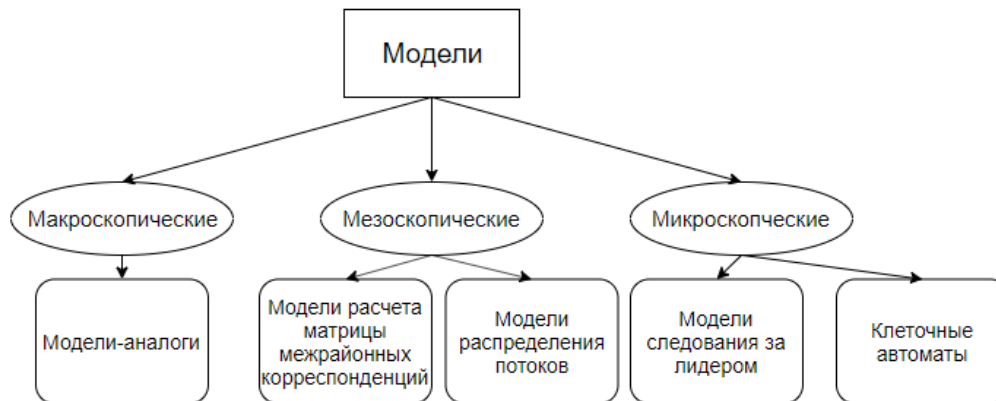


Рисунок 1. Классификация моделей транспортного потока

Макроскопические модели описывают движение транспортных средств как движение специфической жидкости. В процессе моделирования изучаются усредненные характеристики потока, такие как плотность, средняя скорость, интенсивность, но отдельные транспортные средства не рассматриваются.

Мезоскопические модели описывает автотранспортные средства достаточно точно, но при этом рассматривает их взаимодействие и поведение так же, как на макроуровне.

Микроскопические модели описывают движение каждой машины в отдельности.

Модели-аналоги могут быть описаны не только потоком жидкости, но и электрической цепью. Так, могут быть приведены соответствия между силой тока электрической цепи и плотности потока, массой и скоростью ТС, между напряжением и коэффициентом сопротивления качению колеса в дорожных условиях, между сопротивлением и количеством ТС на участке дороги.

Матрица корреспонденций – это количественная характеристикой структуры передвижений по сети, элементами которой являются объемы передвижений (автомобилей или пассажиров в час) между каждой парой условных районов прибытия-отправления (ПО).

В статье [2] рассматривается гравитационная модель расчета матрицы корреспонденций. В публикации [3] авторами была построена математическая модель расположения датчиков на транспортной сети с учетом многополосности для оценки матрицы корреспонденций. Реляционный метод и тринейная модель описаны в публикации [4], сделан вывод о том, что они наиболее детально отображают взаимосвязи между объектами.

Модель равновесного распределения потоков предполагает, что всеми участниками движения выбираются пути следования, исходя из минимальной цены поездки. В результате процесса «проб и ошибок» в системе устанавливается равновесное распределение потоков. Подробно модель равновесного распределения

рассматривается в публикации [5]. Приводятся свойства распределения потоков, известные, как требования Вардрупа [6]:

- все пути, соединяющие районы i и j , которые используются для движения представителями корреспонденции F_{ij} , имеют одинаковую цену;
- цена любого пути между районами i и j , который не используется для движения, превосходит цену используемых путей.

Отмечается, что сложность задачи поиска равновесного распределения связана с отсутствием определения глобального критерия (минимум или максимум), вследствие чего вводятся допущения, которые сводятся к задаче оптимизации.

Модель «следования за лидером» была одной из первых. Основной идеей является то, что на поток транспорта влияет головной автомобиль, за которым этот поток следует. Одной из первых и простейших вариантов моделей следования за лидером является модель, предложенная концерном General Motors [7]. Влияние лидера косвенно выражено через зависимость оптимальной скорости от дистанции до впереди идущего автомобиля. Далее были предложены различные модификации данной модели с учетом ее недостатков.

Имитационная модель на основе модели следования за лидером рассматривается в публикации [8], в результате чего получены данные об устойчивости, безопасности и эффективности цепочки транспортных средств.

Недостатком модели следования за лидером является отсутствие адекватного описания динамики одиночного автомобиля. При отсутствии лидера предполагается, что ускорение равно нулю, однако правильнее будет предположить, что скорость движения отдельного автомобиля приблизится к некоторой желаемой скорости.

Модель клеточных автоматов была предложена в 1940-е годы. Джон фон Нейман работал над теорией самовоспроизводящихся систем. В это же время его коллега, Станислав Улам, разрабатывал математическую модель роста кристаллов. В результате обмена идеями между сотрудниками возникла клеточно-автоматная модель эволюции систем [9].

На сегодняшний день клеточные автоматы являются удобным аппаратом для реализации микроскопических моделей. В работе [10] приведен алгоритм построения модели клеточных автоматов. Клеточные автоматы удобны тем, что набор возможных правил и состояний автомата ограничиваются желанием и ресурсами исследователя. В таком случае модель клеточного автомата предоставляет высокую точность и широкие возможности в моделировании сложного динамического процесса дорожного движения. Однако такая точность требует большое количество ресурсов для сбора данных, а также требуется калибровка модели, так как модель очень чувствительна к ошибкам исходных данных.

Среди многообразия методов моделирования городского транспортного потока не существует абсолютно универсального метода. В приведенных моделях не учитывается влияние районов скопления транспорта друг на друга. При переходе к адаптивному управлению трафиком городского транспорта требуется более продвинутое методы моделирования, основанные на системе искусственного интеллекта.

В качестве примера рассмотрен объект управления в виде трехполосной дороги и ситуация - произошло дорожно-транспортное происшествие в среднем ряду.

С точки зрения макроскопической модели (модели-аналога), остановившиеся автомобили создадут сопротивление потоку. Это можно сравнить с частичным перекрытием крана в трубе – скорость потока снизится, увеличится его плотность. По данной модели потоки будут распределяться одинаково на левый и на правый ряд.

Вследствие возникновения помехи движению, поток, с точки зрения мезоскопической модели (модели равновесного распределения потоков), будет искать оптимальный путь объезда помехи. Таким образом, методом «проб и ошибок» будет

выбрана оптимальная полоса объезда препятствия. По этой модели уже можно оценить по какому маршруту будет направлен поток, в отличие от макромоделей.

С точки зрения микромоделей (модели клеточных автоматов) трасса представляет собой трехмерную решетку, в которой количество ячеек в поперечном направлении соответствует числу полос трассы. Препятствие в виде ДТП можно представить в виде «битой ячейки», движение по которой невозможно. Смена состояний автомата (положения автомобилей) происходит за один временной шаг. Таким образом, можно рассмотреть движение каждого отдельно взятого автомобиля.

Разные задачи требуют разной степени точности, поэтому выбор модели транспортного потока зависит от требуемой детализации процесса.

1. Потапова, И.А. Методы моделирования транспортного потока / И.А. Потапова, И.Н. Бояршинова, Т.Р. Исмагилов // *Fundamental Research*. – 2016. – № 10. – С. 338-342.
2. Ильясов, Э.Э. Расчет матрицы корреспонденций с использованием параллельных вычислительных технологий / Э.Э. Ильясов, А.М. Амиров // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2014. – № 2(33). – С. 42-46.
3. Раевская, А.П. Методы оценки матрицы корреспонденций в загруженных транспортных сетях / А.П. Раевская, А.Ю. Крылатов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ* – 2016. – № 1(236). – С. 31-40.
4. Селиверстов, Я.А. Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ* – 2015. – № 2(217). – С. 49-70.
5. Бабичева, Т.С. Двухстадийная модель равновесного распределения транспортных потоков / Т.С. Бабичева, А.В. Гасников, А.А. Лагуновская, М.А. Мендель // *Труды МФТИ* – 2015. – Том 7, №3. – С. 31-41.
6. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. *Proc. Institution of Civil Engineers*, 1952, vol. 2, pp. 325–378.
7. Урыков В.А., Зеленина Л.И. Математические модели транспортных потоков // *Современная техника и технологии*. 2015. № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <http://technology.snauka.ru/2015/06/6051> (дата обращения: 10.11.2019).
8. Пинянский, А.И. Качественные и численные методы исследования математической модели следования за лидером / А.И. Пинянский, А.П. Буслаев // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт* – 2017 – Том 11. №8 – С. 27-31.
9. Нейман, Джон фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. Закончено и отред. [предисловие и введ., с. 40-48, написаны] А.В. Бёрксом, Пер. с англ. В.Л. Стефанюка. Под ред. В.И. Варшавского. М. “Мир”, 1971. – 384 с.
10. Омарова, Г.А. Применение клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков / Г.А. Омарова, Г.Ю. Казанцев // *Проблемы информатики* – 2015. – С. 1-7.

Халявина А.А.

Исследование методов автоматизированного контроля сложных электронных систем

*МАИ (Московский Авиационный Институт)
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-26

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-26

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы, применяемые при проектировании систем автоматизированного контроля и диагностирования сложных электронных систем, а так же проведен анализ их применения на современном этапе развития радиоэлектронной аппаратуры. В результате проведенного анализа сделаны выводы, что выбор метода зависит от глубины контроля объекта и степени унификации системы контроля.

Ключевые слова: автоматизированные системы контроля, диагностирование, методы, унификация, алгоритмы контроля.

При оценке параметров сложных технических систем с помощью методов математического моделирования перед разработчиками нередко возникает ряд проблем, основными из которых является сложность, а в некоторых случаях и невозможность полного математического описания, ограниченное число регистрируемых состояний, большая размерность решаемых задач, параллельность структуры, неполнота описания свойств.

Контроль технических устройств – один из важных этапов их подготовки к применению. Операции контроля входят во все виды обслуживания техники и по мере ее усложнения становятся все более трудоемкими.

Автоматическое слежение за аварийными параметрами и своевременное диагностирование неисправности позволяет предупреждать крупные повреждения и разрушение техники [1].

Под техническим состоянием понимается совокупность свойств системы, подверженных изменению в процессе производства, хранения и эксплуатации. Следовательно, технические требования определяют группу параметров, характеризующую техническое состояние системы.

Несмотря на значительную степень автоматизации процессов контроля и диагностирования подобных объектов, использование различных подходов, остается актуальной проблема поиска решений, которые позволят повысить эффективность, надежность и качество контроля и диагностирования.

В ряде случаев имеющихся параметров объектов недостаточно для обеспечения заданной глубины диагностики.

По назначению системы диагностики можно разделить на специализированные и универсальные. Специализированные системы предназначены для диагностики объектов одного типа с жестко заданным числом контролируемых параметров и алгоритмами контроля.

Универсальные системы диагностики обеспечивают оценку технического состояния различных объектов, контроля большого количества параметров и применения гибких алгоритмов [2].

При этом контролируемые параметры описываются следующими характеристиками [2]:

- номинальным значением и границами допусков;
- требуемой точностью измерения;
- функциональными зависимостями при вычислении параметров по результатам измерений косвенных величин, учитывая внешние воздействия;
- зависимость номинального и предельного значений от условий окружающей среды (температуры, влажности, атмосферного давления и т.д.);
- закономерностью изменения во времени при эксплуатации (относится только к прогнозирующим параметрам).

К основным методам относятся:

— методы функциональной (рабочей) диагностики, используются в процессе работы ОК. Они ориентированы на анализ процессов формирования стимулирующих рабочих воздействий и реакций ОК на них без учета искажений во время следования. При этом все воздействия последовательно выполняются в соответствии с циклограммами рабочих режимов. Поэтому для автоматизированных средств применяемых при функциональном контроле часто применяется встроенный контроль. Использование встроенного контроля позволяют своевременно среагировать на отказ оборудования и в зависимости от конструкции остановить процесс контроля с отключением всех питающих цепей, заменить отказавшие узлы резервными или

перейти на другие режимы работы, на работу которых отказавшие узлы не влияют, т.е. использование встроенного контроля позволяет строить адаптивные системы контроля.

Методы функционального диагностирования используются на этапе оценки функционирования ОК, при техническом обслуживании, перед или после применения объекта, а так же после выполнения ремонтных работ.

Системы функционального диагностирования в большинстве позволяют обнаружить отказ любого элемента с точностью до блока, поскольку в схемах инженерных систем каждый блок выполняет свою функцию. Но бывают ситуации, когда отказ вызван неисправностью возникающей при совместной работе нескольких блоков, при определенных условиях. В такой ситуации может потребоваться имитация режима функционирования ОК (например имитация рабочего режима). Недостатком функционального контроля являются необходимость дополнительные аппаратные затраты и невысокая точность локализации отказов.

— методы тестового контроля, требуют прерывания работы устройства для подачи на вход определенных тестовых воздействий (тестов). В большинстве случаев позволяет более точно локализовать отказ и не требует дополнительных аппаратных затрат. Однако невозможность контроля при функционировании является недостатком.

Общей проблемой технического диагностирования является достижение адекватной оценки распознавания истинного состояния объекта и классификации этого состояния (нормального или аномального)[3].

Многообразие систем функциональной диагностики определяется лишь сочетанием используемых технологий.

В задачах автоматизации контроля выделяют, как наиболее важные, «технологические» признаки, определяемые методами получения и обработки информации о параметрах, так и «тактические» – уточняющие цели контроля и измерения параметров [4].

По «технологическим» признакам все параметры можно разделить на следующие группы:

1. параметры, выраженные электрическими величинами и не требующие дополнительных преобразований (например, напряжения, разовые команды и т.д.);
2. параметры, выраженные электрическими величинами, нуждающимися в дополнительном преобразовании, и параметры, измеряемые косвенным путем (например, сопротивление нагрузки, сопротивление цепи заземления, наличие электрической связи между цепями питания и корпусом объекта и т.д.);
3. параметры, выраженные неэлектрическими величинами и требующие предварительного первичного преобразования (например, углы поворота рамок гироскопов и т.д.);

Значительная часть параметров объекта может быть проконтролирована непосредственными измерениями. Но некоторые параметры требуют измерения косвенных величин с последующим преобразованием или вообще являются обобщенными и характеризуются рядом признаков.

В общем случае процесс комплексного контроля объекта представляет собой циклограммы, состоящие из стимулов и реакций. Электрические параметры стимулов и реакций определяют выходные и входные сигналы.

При проектировании АСК процесс контроля, в основном, представляется последовательностью входных и выходных сигналов, привязанных ко времени.

Выбор методов построения алгоритма значительно влияет на эффективность процесса контроля и диагностики[5]. Перед разработкой алгоритма необходимо решить следующие задачи:

- определение оптимального набора контролируемых параметров;
- выбор наиболее информативной последовательности измерения контролируемых параметров.

К тому же при разработке алгоритма контроля и поиска отказов необходимо учитывать такие факторы, как:

- особенности применения объекта;
- приоритет диагностического параметра по критерию информативности;
- трудоемкости процесса;
- экономического критерия.

Рассмотрим наиболее распространенные способы построения алгоритмов поиска неисправностей (таблица 1).

Таблица 1

Способы построение алгоритмов поиска неисправностей

Способ	Достоинства	Недостатки
последовательного функционального анализа	прост, нагляден, требует минимум информации от диагностируемой аппаратуры	алгоритм поиска неисправностей не оптимален ни по времени, ни по средним затратам
половинного разбиения	- применим и для случаев, когда в диагностируемой аппаратуре неисправно несколько элементов - используется для последовательно соединенных функциональных блоков	сложность применения когда вероятности состояний для всех элементов неодинаковы
"время—вероятность"	- алгоритм, построенный по такому способу, обладает минимальным средним временем поиска любого неисправного элемента - подходит для систем, в которых функциональные элементы соединены произвольно	-
на основе иерархического принципа	поиск неисправного первичного функционального элемента по приведенной схеме позволяет значительно сократить время поиска по сравнению с поиском среди N элементов	целесообразно использовать для РЭА со встроенными устройствами контроля
построение матриц поиска неисправностей	дает наилучшие результаты при контроле аналоговых цепей	сложность формализации параметров для сложных многокомпонентных систем
Инженерный метод	основан на вычислении функции предпочтения	исходными данными являются функциональная модель ОД и таблица неисправностей
Метод ветвей и границ	- используется в РЭА, функциональная модель, которой представляет собой произвольную структуру - позволяет определить наилучшую последовательность поиска среди возможных	- целесообразен, когда основным критерием является минимальной средней стоимостью при поиске любого неисправного элемента

При выборе методов обычно учитывают такие факторы как обеспечение:

- достоверности измерений;
- надежности;
- технологичности;
- экономичности.

Эти факторы тесно связаны и зависят от назначения и характеристик объекта. По этой причине методы диагностирования оценивают комплексно с целью сравнения и выбора оптимального - по техническим свойствам: метрологическим, технологическим, надежности и по экономическому критерию.

Наиболее простым, является инженерный метод. Он не требует предварительной подготовки.

По критерию эффективности приоритет у метода на основе информационного критерия, поскольку он позволяет получить он дает количественную оценку информации об объекте после контроля очередного параметра.

Метод ветвей и границ наиболее оптимален по времени, количеству и последовательному контролю параметров. Он учитывает вероятность отказа отдельных блоков или узлов. Однако при этом значительных вычислений, которые не всегда возможно выполнить при контроле сложных устройств.

Таким образом при недостатке формализованных признаков эти методы оказываются низкоэффективными, в противном случае повышается размерность, одновременно снижается эффективность, что в свою очередь обусловлено пересечением областей изменения параметров для ряда отказов.

При диагностировании контроле сложных объектов с использованием систем автоматизированного контроля часто наиболее трудоемким является процесс выявления скрытых отказов аппаратуры и программного обеспечения.

Поиск места отказа в процессе диагностирования характеризуется глубиной поиска дефекта. Количественно глубину поиска дефекта можно оценить с помощью вычисления коэффициента глубины поиска дефекта (1).

$$K_{г.п} = F/R, \quad (1)$$

где F– число однозначно различимых составных частей объекта на принятом уровне деления, с точностью до которых определяется место дефекта;

R– общее число составных частей объекта, с точностью до которых требуется определить место дефекта (отказа)[5].

Существенной частью процесса распознавания отказов является выбор параметров, описывающих состояние системы и правила принятия решений. Они должны быть достаточно информативны, чтобы при выбранном числе параметров процесс контроля мог быть осуществлен с максимальной точностью распознавания отказов. Необходимо также оценивать достоверность принятого решения и степень риска ошибочного решения.

В последние годы большое распространение получили методы в основе которых:

- принцип резервирования,
- нейронные сети;
- динамическое программирование;
- нечеткая логика;
- имитационного моделирование.

Использование автоматизированных контрольно-диагностических систем на данном этапе развития не отменяет применения стационарных диагностических средств, но существенно снижает их количество. А используемые методы позволяют снизить риски и повысить эффективность.

При этом под автоматизированной системой контроля понимается комплекс программно-аппаратных средств, которые используют для контроля функционирования циклограммы представляющие последовательность реакций диагностируемого объекта на определенные входные воздействия, результаты этих воздействий сравниваются с формализованными признаками, характеризующими состояние ОК.

Несмотря на различные методы диагностирования объекта общей характеристикой является поиск решений, позволяющей расширить базу диагностических признаков для повышения эффективности диагностики и разработка методики выделения групп признаков, позволяющих выявлять те или иные виды неисправностей (отказов), не увеличивая чрезмерно размерность диагностической системы

При использовании любого метода предполагается конечное число возможных неисправностей (отказов) и ограниченное количество сочетаний.

Постоянно ведутся работы связанные с поиском методик повышающих достоверность контроля и снижающих трудоемкость

Все большую актуальность приобретают вопросы построения имитационных моделей объекта, наиболее точно воспроизводящих наблюдаемый процесс на выходе объекта. Параметры таких моделей служат дополнительными признаками, используемыми для повышения эффективности при функциональном диагностировании.

В настоящее время, в силу объективных причин, связанных с трудностями создания имитационных дорогостоящих стендов полунатурного моделирования, возможности полномасштабного контроля функционирования сложных объектов до проведения натуральных испытаний ограничены. Однако выход из создавшегося положения можно найти в совместном использовании автоматизированных систем контроля, имеющей возможности имитации изменения линейных и угловых параметров через цепи обратной связи датчиков первичной информации реально не перемещающегося объекта, и различного рода поворотных установок, воссоздающих физические процессы изменений пространственно-углового положения объекта. Такой подход к организации процесса контроля (контрольных задач) позволяет отрабатывать основные алгоритмы и достоверно оценивать степень готовности объекта к выполнению задач.

Все направления развития электронных устройств контроля и диагностики (системы встроенных датчиков и контрольных точек, бортовые и комбинированные контрольно-диагностические системы) не исключают, а взаимно дополняют друг друга. Вместе с тем, как отмечено в [6-7], достаточную эффективность могут иметь лишь автоматизированные средства диагностического контроля с интегральной оценкой состояния системы и выдачей рекомендаций оператору.

Проведенный анализ показал, что выбор метода контроля сложных технических систем специализированного назначения во многом зависит от назначения объекта и структуры системы контроля. От грамотного выбора методов зависит эффективность процесса контроля. Таким образом, корректный выбор методов, с учетом основных параметров объекта и системы контроля можно обеспечить унификацию, снизить количество ошибок и повысить эффективность контроля.

1. Лоскутов А.И., Вечеркин В.Б., Шестопалова О.Л. Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур // Информационно-управляющие системы. , 2012. , № 2. ,С. 74- 81.
2. Раннев Г.Г., Тарасенко А. П, Методы и средства измерений, Москва, АСАДЕМА, 2004 г., 230с.
3. Ерёмченко В.Т. , Техническая диагностика электронных средств: учебник для высшего профессионального образования /– Орел: ФГБОУ ВПО «Госунiversитет - УНПК», 2012., 157 с.
4. Заведеев А. И., Ковалев А. Ю., Диагностика состояния и принципы повышения отказоустойчивости бортовой системы управления космического аппарата Электронный журнал «Труды МАИ» Выпуск №54, с 1-9.
5. Обносов Б.В., Данеко А.И., Захаров И.В., Трубников А.А., Решетников Д.А. Методы и средства повышения эффективности испытаний унифицированных систем, Электронный журнал «Труды МАИ» Выпуск №62, с 1-7.
6. Емельянова Ю.Г. и др. Нейросетевой метод обнаружения неисправностей в космических подсистемах // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения». , 2009. , Т. 1. , С. 133-143.
7. Сушкин В.В., Дубов А.В., Капранов А.П. Обзор современных средств автоматизации поиска неисправностей в электронных устройствах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010, №2.

РАЗДЕЛ XIV. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Уханов В.П., Новосёлов А.С.

Размещение и потенциал низинных болотных массивов Сокольского района
Вологодской областиВологодский государственный университет
(Россия, Вологда)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-27

idsp: sciencerussia-10-04-2020-27

Аннотация

Приводятся результаты исследований торфяных месторождений низового типа (болотных массивов) на территории Сокольского района Вологодской области. Представлена схема расположения основных болотных массивов и выполнен анализ их размещения по ландшафтам района. Проанализированы основные показатели торфяных отложений на 36 болотных массивах.

Ключевые слова: ландшафт, торфяная залежь, низинный торф

Введение. Природные условия Сокольского района достаточно благоприятны для формирования и развития водно-болотных угодий и заболоченных лесов. Такие особенности как значительное количество осадков, высокая влажность климата, превышения осадков над испарением, слабая расчлененность значительной части территории и замедленный поверхностный сток, широкое распространение суглинистых и глинистых по литологическому составу поверхностных четвертичных отложений, замедляющих просачивание вод в нижележащие горизонты, способствуют развитию болото-образовательного процесса и заводнению территории [3].

Преобладающая часть болотных массивов формируется в результате заболачивания лесов, под влиянием верховодки, которая на определенной глубине соединяется с грунтовыми водами. В этом случае торфяная залежь представлена отложениями лесного происхождения: низинными, переходными, реже верховыми с большим количеством древесных остатков.

Часть массивов сформировалась при заторфовывании послеледниковых водоёмов, существовавших в бассейнах крупных рек и озёр (например, на Присухонской и Прикубенской низинах). После заболачивания лесных массивов по периферии этих водоёмов участки болот сливаются в единые болотные системы, занимающие достаточно большие площади (самый крупный в районе массив – Рабангско-Доровский).

В ходе раскрытия темы исследования были сформулированы три **задачи**: 1) проанализировать размещение болотных массивов по ландшафтам района с оформлением схемы; 2) Создать базу данных болотных массивов и охарактеризовать основные показатели торфяных залежей; 3) сформулировать предложения для освоения массивов промышленным направлением (агропромышленный и лесной комплексы).

Результаты исследования и их анализ. По данным торфяного фонда [5] и списка торфяных месторождений [4] Вологодской области на территории района насчитывается 83 болотной системы, общей площадью 55 246 га, которые вместе с заболоченными лесами занимают около 13,3 % его площади. Из них низинные болота уступают по площади верховым и переходным (16 % от площади болотных массивов), но преобладают в количественном отношении (их насчитывается 36). Среди низинных массивов доминируют малые, небольшие и средние категории, площадью менее 500 га (табл. 1).

Значительно уступают низинные массивы и по объёмам торфяных залежей (табл. 1). В районе лидируют массивы верхового типа, причём, как по запасам торфа, так и по занимаемой ими площади [2].

Таблица 1

Распределение запасов торфа разных типов и их комбинаций по группам болот

Типы торфяных залежей и их комбинаций	Запас торфа по группам болот (диапазон площади, га), м ³				ВСЕГО	
	1 – 100	100 – 500	500 – 1000	Более 1000	м ³	%
Верховые	101	21 995	38 048	146 794	206 938	33,9
Комбинации с преобладанием верхового	3 298	3 792	14 958	19 7139	219 187	35,8
Низинные	11 651	12 418	9 391	23 151	56 611	9,2
Переходные	3 417	6 975	29 269	40 597	80 258	13,1
Комбинации с преобладанием переходного	-	1 457	-	47 579	49 036	8,0
ИТОГО:	1 467	46 637	91 666	455 260	612 030	100,0

Низинные болотные комплексы распространены, преимущественно, в долинах и поймах рек и межхолменных понижениях. Большая их часть имеет относительно небольшие площади, а также не встречается сочетаний различных типов залежей и практически доминирует низинный тип [2]. *Распределение массивов по территориям ландшафтов района* показано на рис. 1 и 2.



Рисунок 1 – Схема размещения основных низинных болотных массивов района (индивидуальные номера массивов соответствуют табл. 2)

Наиболее многочисленны низинные массивы в крайней западной и юго-западной частях района, а также на востоке – в окрестностях с. Чучково. Среди них преобладают малые по площади комплексы (n = 28) и лишь несколько относятся к группе крупных и средних.

Главными особенностями распространения этого типа болот в ландшафтах района выступают мозаичность и неравномерность. В Сокольском районе [3]

выделяется шесть ландшафтов, отличающихся по своему генезису, природным характеристикам и площадям (рис. 2). Самые большие площади в пределах района [3] занимают Харовско-Биряковский и Двиницкий ландшафты. На каждый из них приходится около 32 % от общей площади. Значительна также площадь Присухонского ландшафта (около 13% площади района). На остальные три ландшафта приходится лишь двадцать три процента площади.

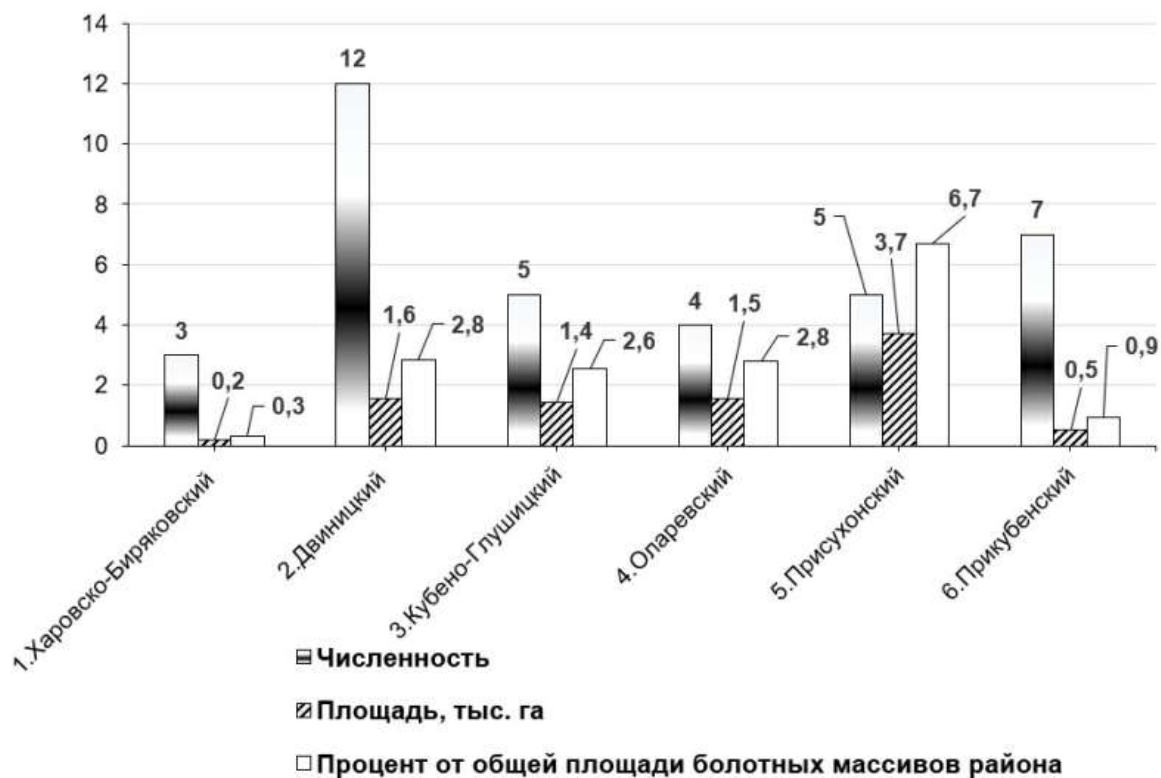


Рисунок 2 – Численность, площадь и процент низинных болотных массивов от общей заболоченности района в разрезе ландшафтов

В Харовско-Биряковском ландшафте, заболоченном на два процента, сосредоточено 15 болотных массивов, но численность и площадь низинных комплексов незначительна (лидируют – верховые). Они занимают относительно небольшую площадь, по сравнению с другими ландшафтами района.

В Двиницком ландшафте, с заболоченностью в семь процентов, общая численность и площадь болотных массивов больше. Только верховые типы (на водоразделах рек Двиницы, Вотчи и Стрелицы) занимают в нём свыше 11 % от площади, а переходные и верховые – свыше 5% от площади массивов в районе. Относительно небольшие низинные болотные комплексы сосредоточены в межхолменных понижениях, на надпойменных террасах и в поймах рек. Здесь расположено наибольшее их число. Причём площадь массивов больше, чем в предыдущем ландшафте, на 1 357 га (или 2,4 %).

Кубено-Глушицкий ландшафт характеризуется ещё большей заболоченностью в целом, по сравнению с двумя охарактеризованными выше – около 28 %. Он занимает промежуточное положение между Двиницким и Прикубенским ландшафтами, преимущественно на озёрно-моренных отложениях, которые перекрывают одноимённые накопления валдайского возраста. Как результат, рельеф плоский или пологоволнистый, сток ослаблен и заболоченность высокая. Доля всех болотных массивов в нем составляет 15,8 % от площади района.

По площади доминируют переходные типы массивов (6,9 % от площади болот района). Доля низинных типов и их численность здесь несколько ниже, чем в

предыдущем ландшафте. Большая часть этих массивов находится в центральной части ландшафта, где преобладают плоские или пологоволнистые озёрно-гляциальные равнины.

Значительную величину заболоченности в пределах района ($\approx 33\%$) имеет *Присухонский ландшафт*. Такой высокий показатель связан с наличием достаточно крупных верховых болотных комплексов на водоразделах рек Сухоны, Пельшмы, и Двиницы (основной пример – Рабангско-Доровский массив, с площадью около $3,2\%$ от площади района и 25% от площади ландшафта). Низинные системы играют в ландшафте подчинённую роль и занимают лишь около шести процентов от его площади. В то же время, по занимаемой территории низинными массивами, этот ландшафт лидирует. Это обусловлено доминированием в нём озёрных равнин с ослабленным стоком. Аллювиальные и делювиальные отложения с хорошим дренажем преобладают лишь в долинах рек.

Оларевский ландшафт характеризуется относительно невысокой заболоченностью – около $6,5\%$. Несмотря на то, что массивы низинных болот в нём редки (всего 4), их площадь сравнима с площадью болот этого же типа в Двиницком ландшафте.

Прикубенский ландшафт имеет самый высокий общий показатель заболоченности, близкий к Присухонскому – около 36% . По численности в нём преобладают низинные, а по площади – переходные болотные комплексы. Как и в Присухонском ландшафте, они сформировались на озёрных отложениях четвертичного возраста. Незначительные уклоны поверхности повлекли за собой ослабленный сток и интенсивный болото-образовательный процесс (самый крупный, преимущественно переходный, массив – это Кубенская низина (от заболоченности ландшафта и площади района он занимает 10 и $1,1\%$ соответственно)). Семь низинных комплексов сформировались в отдельных частях озёрных террас и вдоль долин, впадающих в озеро небольших рек.

Небольшие по площади, типично низинные массивы, постепенно зарастают лесом. Свойственные им растительные ассоциации могут присутствовать и чередоваться с лесными.

В целом ландшафты района имеют различные показатели численности и площадей низинных болот по абсолютным и относительным величинам (по площади лидирует Присухонский ландшафт, а в конце рейтинга – Харовско-Биряковский). Наибольшая численность массивов отмечена в Двиницком, а наименьшая – в Оларевском ландшафтах. Такие особенности обусловлены преимущественно климатическими условиями, происхождением, механическим составом четвертичных отложений и уклонами поверхностей.

В строении **залежей низинных массивов** выделяются следующие виды и их соотношения (в %): осоковые – $45 - 50$; лесные – $15 - 20$; древесно-осоковые – $12 - 15$; многослойные лесотопяные – $5 - 7$; топяно-лесные – $1 - 3$; многослойные топяные, древесно-тростниковые и другие – $3 - 5$. Эти массивы, в отличие от других типов, не имеют сочетаний по типам преобладающей залежи. Так как площадь каждого из них невелика и залежь, как правило, однородна по составу и происхождению.

Мощность залежи низинных болот района изменяется в небольших пределах – от $0,6$ (массив Окуневский) до $3,4$ (массив Пташинский), при среднем показателе около $1,7$ м. Максимальная мощность торфа колеблется от одного (массив Окуневский) до пяти метров (Чайкинский массив). Средняя максимальная глубина низинных систем района около трёх метров (табл. 2).

По небольшим низинным массивам, расположенным в поймах рек, наиболее часто встречаются низинные лесные и лесотопяные залежи торфа.

Таблица 2

Характеристика болотных массивов низинного типа

Номер *	Наименование болотного массива	Площадь, га	Зольность (А) / Степень разложения, в %	Мощность торфяной залежи, средняя / максимальная (в м)	Наличие пней / Запас, тыс. т
4	Морткинский	3 104	7,8 / 31,0	1,0 / 2,1	Мал. / 5 349
10	Чистый-2	1 590	19,3 / 49,0	0,7 / 2,6	– / 5 091
13	Перовский	1 363	6,8 / 32,0	1,8 / 2,6	Бол. / 12 711
21	Герасимовский	650	11,5 / 35,0	2,8 / 4,6	Мал. / 9 391
29	Осинки	379	3,2 / 36,0	1,1 / 1,8	Бол. / 2 708
32	Пучкас	249	12,0 / 34,0	1,6 / 2,4	Средн. / 3 439
39	Четьянский	172	10,6 / 32,0	1,4 / 1,9	– / 1 526
42	Без названия	147	– / –	1,2 / 2,7	Мал. / 467
45	Скомороховский	125	14,2 / 50,0	2,2 / 4,0	Бол. / 2 373
46	Вороновский-2	120	7,1 / 31,0	2,1 / 3,2	Мал. / 1 905
49	Чепуро-Нестеровский	94	9,1 / 31,0	2,1 / 3,8	Мал. / 1 050
50	Борщевский	92	15,6 / 40,0	1,2 / 2,2	Мал. / 294
51	Чайкинский	86	20,1 / 31,0	2,7 / 5,0	Мал. / 2 129
52	Сохра	82	13,8 / 38,0	1,6 / 4,0	Мал. / 916
53	Без названия	81	10,1 / 32,3	1,7 / 3,0	Средн. / 467
58	Крюковский	61	5,1 / 42,0	1,1 / 2,5	Мал. / 726
59	Кашеевский	54	10,7 / 28,0	1,2 / 2,7	Бол. / 624
60	Нерналицевский	45	17,4 / 30,0	2,5 / 4,2	Бол. / 1 050
61	Телячий	44	36,4 / 32,0	2,1 / 4,0	Бол. / 810
65	Каликинский	40	22,7 / 34,0	1,4 / 3,0	Бол. / 413
66	Куваевский	40	38,6 / 35,0	0,9 / 2,2	Бол. / 203
68	Чупринский	35	2,3 / 33,0	1,1 / 2,1	Бол. / 307
69	Пташинский	31	10,4 / 48,0	3,4 / 5,1	Мал. / 886
70	Сельский	28	10,7 / 28,0	3,4 / 5,1	Бол. / 332
71	Придорожный-1	26	9,9 / 30,0	1,7 / 2,8	Мал. / 314
72	Окуневский	24	8,0 / 27,0	0,6 / 1,0	Бол. / 26
73	Саниновский	24	24,8 / 33,0	1,8 / 3,8	Бол. / 354
74	Медведевский	21	11,5 / 36,0	1,6 / 4,8	Бол. / 273
75	Коровьевский	20	11,5 / 33,0	1,3 / 2,2	Бол. / 96
76	Выгон (Обросовский)	19	8,5 / 32,0	1,2 / 2,5	Бол. / 158
78	Новая Пригородка	8	39,8 / 36,0	0,9 / 1,4	Мал. / 30
79	Глебовский	8	26,1 / 34,0	1,4 / 3,0	Бол. / 66
80	Пендус-2	8	11,5 / 36,0	1,4 / 2,6	Бол. / 60
81	Пендус-1	5	13,2 / 38,0	0,8 / 1,5	Средн. / 30
82	Манихинский	3	15,0 / 35,0	0,7 / 1,8	Бол. / 13
83	Пепельниковский	3	10,9 / 28,0	1,3 / 3,0	Бол. / 24
ИТОГО 8 881			В среднем		преобладающая категория большие / ИТОГО – 56 611
			15,21 / 35,3	1,7 / 2,92	

Примечание: * номер соответствует позиции массива в торфяном фонде; жирным отмечены максимумы по столбцам

Доминирующими видами растительности в таких природных комплексах выступают лесные участки из березняков, реже сосняков. Относительная полнота деревьев чаще повышенная – от 0,6 до 0,8; микрорельеф кочковатый (кочки занимают немалые площади – часто до 20 – 30 % от общей площади болота).

Степень разложения низинного торфа гораздо выше по сравнению с верховым. На болотах района она варьирует в достаточно широких пределах – от 27 до 50 %. В среднем она составляет 35 %, что соответствует аналогичным показателям по большинству болотных систем области. Тем не менее, этот показатель несколько ниже, чем в соседних Ярославской и Ленинградской областях. Это объясняется наличием в Вологодских (в том числе и Сокольских) торфяных массивах слоёв топяных видов торфа, которые имеют пониженные показатели степени разложения. Они встречаются практически на всех типах торфяных залежей и во всех болотных массивах изучаемого района.

Следует отметить, что в восточной и южной частях района этот показатель несколько выше и варианты колебаний составляют от 25 до 45%. Наиболее значительная степень разложения отмечается в пределах участков низинных массивов с осоково-древесными слоями торфа. Так, на комплексах Чистый – 2, Осинки, Скомороховский, Крюковский, Пташинский и ряде других, степень разложения составляет от 35 до 49 %, что выше среднего показателя по району.

Зольность торфа, как и степень разложения, при низинном типе заболачивания выше, чем у верховых и переходных типов. Она изменяется в достаточно широких пределах – от трёх (массив «Осинки») до ≈ 39 (Новая Пригородка) при среднем показателе зольности в целом – ≈ 15 %.

Наиболее высокие показатели зольности характерны для болотных систем, расположенных в поймах рек и ручьёв, где она достигает 20 и более процентов. Для большинства таких комплексов зольность по всей залежи распределяется относительно равномерно.

Для осоковых залежей в поверхностных слоях зольность колеблется в пределах от 11 до 14 %. В придонных слоях торфа она увеличивается до 20 (25), реже до 30 и более процентов. По численности и площади в изучаемом районе преобладают массивы с зольностью выше 10 %. От числа низинных болотных массивов и общей их площади болотные системы, с указанной выше зольностью, составляют около 70 и 80 % соответственно.

Естественная влажность залежи торфа у низинных болотных систем также ниже, чем у верховых. Диапазон её колебаний в пределах 87 – 90 %. Средний показатель для относительно крупных болотных массивов этого типа – около 90 %. Более низкие показатели влажности характерны для участков с малой мощностью залежи, расположенных у ручьёв и рек, дренирующих болотные массивы. Более высокие показатели наблюдаются на участках с большой мощностью залежи торфа, имеющего преимущественно осоковое происхождение. По слоям торфа влажность распределяется в основном равномерно. Согласно списку торфяных месторождений [4], некоторое её повышение наблюдается в нижних слоях.

Показатель pH также самый высокий, по сравнению с болотными системами других типов. Он варьирует в пределах от 5,5 до 6,5. Средняя его величина составляет 6,19. Самый высокий уровень зафиксирован на Саниновском болотном массиве (7,2 – нейтральная среда), а самый низкий (кислый) – на Чепуро-Нестеровском (4,8).

Относительно *наличия пней на поверхности массивов* нужно отметить, что для некоторых болотных систем, в связи с отсутствием данных, анализ этого показателя невозможен. По имеющимся данным следует отметить, что в их пределах преобладает средняя или большая встречаемость. По имеющимся данным касается 34 массивов на 56 % объектах наличие пней большое, на 35 % – малая и на 8 % массивов – средняя встречаемость пней. Повышенные показатели наличия пней обусловлены значительной залесённостью большинства низинных болотных комплексов.

Особенности растительного покрова. Низинные болота на водоразделах представлены в основном сочетанием лесных и безлесных формаций. Из лесных, в

основном, преобладают берёзовые и чёрно-ольхово-еловые леса и редколесья. Леса с преобладанием сосны обыкновенной на таких болотах встречаются достаточно редко.

Из беслесных формаций на массивах доминируют ивово-травяные, травяные и травяно-моховые болота. Происхождение их, скорее всего, связано с заторфовыванием небольших озёр или заболачиванием минеральных лесных почв при слабом дренаже.

В притеррасных частях пойм крупных, средних и мелких рек района часто встречаются относительно небольшие травяные кочкарниково-осоковые массивы с обилием болотного разнотравья, тростника и ситника. На старо-пойменных террасах широко распространены елово-черноольховые топи. Вдоль низких берегов небольших озёр старичного происхождения находятся топяные хвощёво-осоково-гипновые или вахтово-осоковые болотные комплексы (к примеру – Четьянский). В районе их называют «пендусы» (Пендус – 1 и 2).

Запасы торфяных отложений сравнительно невелики (табл. 2.10 и рис. 3). Они составляют лишь около девяти процентов от общих запасов этого органоминерального ресурса района. Тем не менее, в нём содержится не менее 70% органики, а также практически весь базовый набор питательных элементов.

Ценность низинной торфяной залежи заключается в том, что с её помощью можно улучшить даже самый бедный грунт, включая песчаную почву, тяжёлые суглинки и глины.

За счёт торфяной подсыпки минеральная часть грунта обогащается органикой и элементами питания, а за счёт связывания песка и разрыхления глины улучшаются её физические свойства. Концентрация солей в низинном торфе колеблется в пределах от 200 до 700 мг/л, что гораздо выше, чем у верхового.

К тому же торф практически не содержит сорняков, вредителей и возбудителей болезней растений, поэтому перед использованием не требует дезинфекции (не провоцирует развитие грибковых заболеваний). Его также не надо подщелачивать перед внесением. Таким образом, он подходит даже для наиболее активно реагирующих на среду растений.

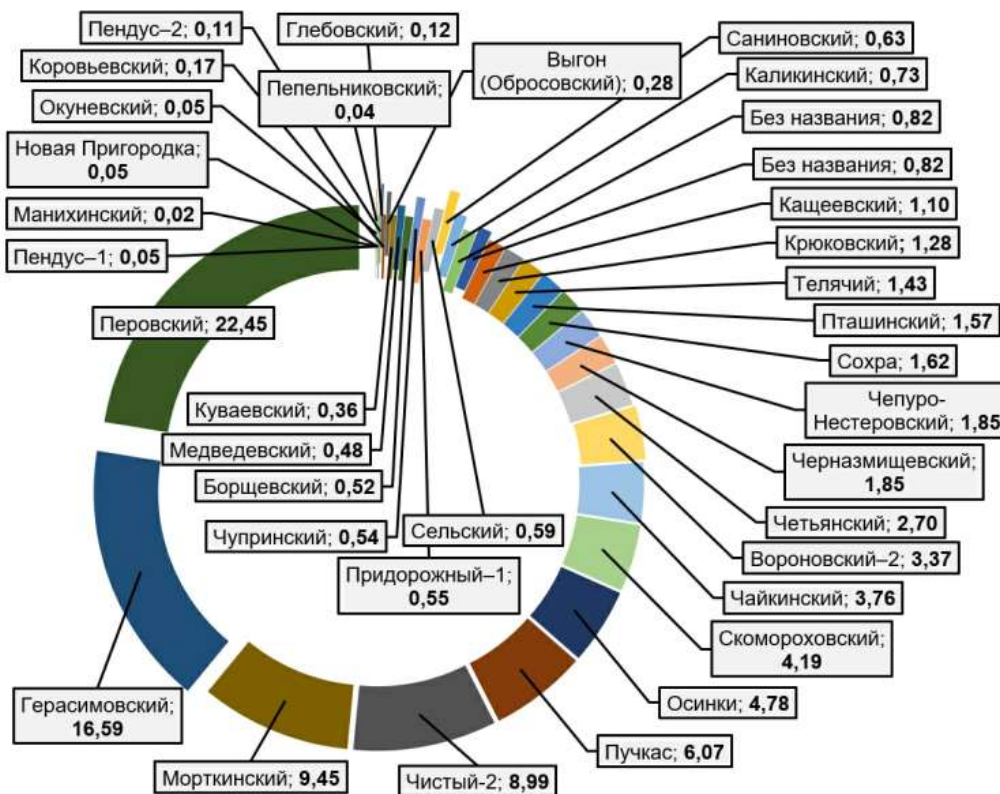


Рисунок 3 – Распределение объёмов торфяных залежей в относительных величинах по болотным массивам

В торфе также содержатся биологически-активные вещества, укоряющее рост молодняка рогатого скота и укрепляющие его иммунитет.

Существует и *медицинское применение* торфяных отложений. В них содержится вещество «сфагноль», которое убивает микробы и может предохранять организм человека от гнойных заражений. В *строительстве* такие залежи тоже находят применение как теплоизоляционный и звукоизоляционный материалы.

Исходя из выше отмеченного **в целях освоения низинных болотных массивов** предлагается выделить два направления. С точки зрения агро-освоения предлагается включить в программу четыре болотных массива (№ 59, 60, 78 и 73 – согласно табл. 2.10) в связи благоприятствующим уровнем Ph среды. Для повышения продуктивности лесов предлагается проведение гидротехнической мелиорации в шести самых крупных низинных системах (№ 4, 10, 13, 21, 29, 32) и девяти средних по площади болотных массивах (39, 42, 45, 49, 51, 68 – 71) в связи с близостью к инфраструктурным объектам и параметрам залежей.

Подводя итоги всему выше сказанному, следует сделать **ряд выводов:**

1. В Двиницком ландшафте сосредоточено наибольшее число низинных болотных массивов (12);
2. По занимаемой площади лидирует Присухонский ландшафт (3,7 тыс. га);
3. Низинные залежи в наибольшей степени сосредоточены в группе массивов от одного до 100 гектар (на 42 % превышает сумму площадей массивов других типов);
4. По степени разложения торфяных залежей следует выделить Чистый – 2, Осинки, Скомороховский, Крюковский, Пташинский, по запасам отложений – Герасимовский и по уровню Ph – Саниновский болотные комплексы района;
5. С точки зрения улучшения работоспособности агропромышленного комплекса, рекомендуется включить в освоение четыре, а с позиции развития лесного комплекса – провести гидротехническую мелиорацию на 15 болотных комплексах.

1. Баланс запасов полезных ископаемых РФ на 01 января 2002 года. Торф. – Вологда: ТГФ Вологодской области, 2001. – 217 с.
2. Природа Вологодской области / гл. ред. Г.А. Воробьев. – Вологда : Вологжанин, 2007. – 434 с.
3. Природные условия и ресурсы Вологодской области (Сокольский район) / ред. Т.К. Толоконникова. – Вологда: ВГПИ, 1972. – 180 с.
4. Список торфяных месторождений Вологодской области, разведанных в 1968 – 1978 годах / под ред. А.В. Смирнова. – Москва : Министерство геологии РСФСР, «Геол-торфразведка», 1979. – 60 с.
5. Торфяной фонд Вологодской области (по состоянию разведанности на 01.01.1968 г) / под ред. Б.Л. Стахневича. – Москва : Министерство геологии РСФСР, 1970. – 617с.

РАЗДЕЛ XV. ФИЗИКА

Аксёнов В.В.

Пятнадцать теорем математической геофизики. Формулировки, доказательства, ссылки на публикации

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО
РАН
(Россия, Новосибирск)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-28

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-28

Аннотация

В статье сформулированы и доказаны пятнадцать основных для геофизической электродинамики теорем. Эти теоремы позволяют обоснованно интерпретировать наблюдаемые данные, полученные в результате проведения двух международных геофизических годов и всемирной магнитной съемки. Они учитывают возникающие в природе гидромагнитные эффекты, зафиксированные экспериментально более ста лет назад. Теоремы вскрывают как математическую сущность геофизической электродинамики, так и имеющие место в природе новые физические явления, а именно несилловые и силловые электромагнитные поля, подтвержденные экспериментом в международных геофизических годах.

Ключевые слова: тороидальные и полоидальные электромагнитные поля, теоремы существования этих полей, математическое обоснование разделения суммарных вихревых магнитных полей на тороидальную и полоидальную части.

Abstract

The article formulated and proved fifteen basic theorems for geophysical electrodynamics. These theorems allow a reasonable interpretation of the observed data obtained as a result of two international geophysical years and the world magnetic survey. The theorems take into account the hydromagnetic effects that occur in nature, recorded experimentally more than a hundred years ago.

The theorems reveal both the mathematical essence of geophysical electrodynamics and the appearance of new physical phenomena in its theory, namely non-force and force electromagnetic fields, confirmed by experiment in international geophysical years.

Keywords: toroidal and poloidal electromagnetic fields, theorems of the existence of these fields in a natural electromagnetic field, mathematical justification of the separation of vortex magnetic fields into toroidal and poloidal parts.

Введение

Кардинальным изменением в математической геофизике (геофизической электродинамике) является замена:

а) *статической парадигмы* К.Ф. Гаусса в геомагнетизме:

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0, \quad \mathbf{H} = -\nabla V, \quad \Delta V = 0, \quad (1)$$

где \mathbf{H} – напряженность магнитного поля, V – скалярный потенциал, $\mathbf{H}, V \in C^\infty$,

б) на *стационарную*:

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad \Delta \mathbf{A} = \mathbf{j}, \quad \mathbf{A} = (\mathbf{Qr}) + \nabla \times (\mathbf{Qr}), \quad (2)$$

где \mathbf{A} – векторный потенциал, \mathbf{j} – плотность электрического тока, $\mathbf{H}, \mathbf{A}, \mathbf{j} \in C^\infty$,

в) или *квазистационарную* для переменной части земного магнитного поля:

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad \Delta \mathbf{A} + \chi^2 \mathbf{A} = \mathbf{j}, \quad \mathbf{A} = (\mathbf{Qr}) + \nabla \times (\mathbf{Qr}), \quad (3)$$

где χ – электромагнитная константа.

Эта замена вызвала разработку и доказательство целого ряда фундаментальных теорем, пятнадцать из которых здесь сформулированы автором, приведены их полные доказательства.

Теоремы

Первая теорема общего характера касается восстановления векторного поля специального вида по данным о нормальной компоненте этого поля на регулярной границе.

Теорема 1.

Соленоидальное векторное поле \mathbf{H} в сферической области V (в шаре с поверхностью S и радиусом R) однозначно восстанавливается выражением:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 = \nabla \times (\mathbf{Qr}) + \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}), \quad (4)$$

если известна нормальная составляющая $H_N(\mathbf{r})$ на S , а функция $Q(r, \theta, \varphi) \in C^\infty$,

среднее которой $\langle Q \rangle = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi Q \sin \theta d\theta d\varphi = 0$ на S , а также $\mathbf{H}, \mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2 \neq 0$ и $\nabla \times \mathbf{H}_1 = \mathbf{H}_2$

всюду.

Доказательство.

Если векторное поле \mathbf{H} отвечает (4), то, чтобы доказать единственность разложения (4), необходимо выразить функцию Q через исходную нормальную компоненту векторного поля \mathbf{H}_2 или $\nabla \times \mathbf{H}_1$.

$$\begin{aligned} (\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_2) &= \mathbf{r} \cdot \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}) = \mathbf{r} \cdot \{\nabla \nabla \cdot (\mathbf{Qr}) - \nabla^2 (\mathbf{Qr})\} = \mathbf{r} \cdot \{\nabla[\mathbf{r} \cdot \nabla Q + 3Q] - 2\nabla Q - \mathbf{r} \nabla^2 Q\} = \\ &= -r^2 \nabla^2 Q + \mathbf{r} \cdot \nabla(\mathbf{r} \cdot \nabla Q) + \mathbf{r} \cdot \nabla Q = -r^2 \nabla^2 Q + \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \frac{\partial Q}{\partial r}) = -DQ, \end{aligned} \quad (5)$$

$$(\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_1) = \mathbf{r} \cdot \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}) = -DQ.$$

Здесь D – прямой оператор (оператор Бельтрами) определяется из (5), а именно:

$$D = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}, \quad (6)$$

и является частью оператора Лапласа без радиальных производных.

Чтобы найти Q , необходимо определить прямой D и обратный D^{-1} операторы. Обратный оператор D^{-1} определяется следующим образом. Пусть $\psi(r, \theta, \varphi)$ и $f(r, \theta, \varphi)$ – произвольные скалярные функции, связанные соотношением:

$$D\psi(r, \theta, \varphi) = f(r, \theta, \varphi). \quad (7)$$

При этом функции $\psi(r, \theta, \varphi)$ и $f(r, \theta, \varphi) \in C^\infty$, среднее у которых на S равно нулю $\langle \psi \rangle = 0$, $\langle f \rangle = 0$. Обозначим:

$$S_n(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^n A_n^m P_n^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, \quad (8)$$

где $P_n^m(\cos \theta)$ – сферические функции, A_n^m – комплексные постоянные $S_n^m(\theta, \varphi) \in C^\infty$. Далее представим вспомогательные функции ψ, f их стандартными разложениями по сферическим функциям:

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) S_n(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \psi_n(r) A_n^m P_n^m(\cos \theta) e^{im\varphi}; \quad f = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n^m(\theta, \varphi). \quad (9)$$

Суммирование по n начинается с единицы, свободный член отсутствует в связи наложенным условием нулевых средних для функций Q, ψ, f на сфере S . При этом функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$ для $r \leq R$ пропорциональны r^n , а для $r \geq R$ соответственно $\frac{1}{r^{n+1}}$.

Применим прямой оператор D к функции $S_n(\theta, \varphi)$, воспользовавшись результатом (5):

$$DS_n(\theta, \varphi) = -n(n+1)S_n(\theta, \varphi). \quad (10)$$

Действительно, с учетом (5) и условий на функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$, можно записать:

$$\begin{aligned} -r^2\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} r^n S_n(\theta, \varphi) + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} r^n S_n(\theta, \varphi)\right) &= Dr^n S_n(\theta, \varphi); & \text{отсюда} \\ -n(n+1)S_n(\theta, \varphi) &= DS_n(\theta, \varphi), \\ -r^2\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi) + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi)\right) &= D \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi); \\ -n(n+1)S_n(\theta, \varphi) &= DS_n(\theta, \varphi), \end{aligned}$$

Такая запись представляется наиболее удобной, так как в операторе D функции дифференцируются только по угловым координатам, согласно (5). Теперь применим к (7) оператор D и с учетом ранее полученных разложений функций ψ и f получим:

$$D\psi = -\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) n(n+1) S_n(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n(\theta, \varphi). \quad (11)$$

Функции $S_n(\theta, \varphi)$ и $\bar{S}_n(\theta, \varphi)$ отличаются только комплексными коэффициентами. Приравняем общие члены в (11), помня об абсолютной и равномерной сходимости рядов разложений функций ψ, f по сферическим функциям. Разделим правую и левую части на множитель $n(n+1)$. В результате получим:

$$\psi_n(r) S_n(\theta, \varphi) = -f_n(r) \frac{\bar{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (12)$$

Просуммировав все гармоники в (12), будем иметь:

$$\psi = -D^{-1} f = -\sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \frac{S_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (13)$$

Формула (13) есть определение обратного оператора D^{-1} . Обратный оператор в (13), с нашей точки зрения, является более конструктивным для данной задачи, чем разработанный ранее интегральный обратный оператор для оператора Бельтрами, содержащий функцию Грина. Применим обратный оператор:

$$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} r H_{P_m}(r) \frac{\tilde{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)} = -\sum_{n=1}^{\infty} r (\nabla \times H_T)_m(r) \frac{S_n'(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (14)$$

Если учесть, что при $r = R$ имеем $H_{P_m}(R) = H_{N_n}(R)$,

$$H_N(r) = \sum_{n=1}^{\infty} H_{N_n}(R) S_n''(\theta, \varphi),$$

$$\nabla \times H_T = \nabla \times \nabla \times (Qr) = H_P, \text{ то}$$

$$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} R H_{N_n}(R) \frac{\tilde{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}, \quad (15)$$

где R – радиус шара.

Равенство (15) позволяет вычислить неизвестные комплексные постоянные только по информации, содержащейся на сфере S , что точно соответствует теореме Гельмгольца и теореме единственности представления соленоидального векторного поля \mathbf{H} разложением (4).

Теорема доказана.

Вторая теорема посвящена пределам применимости уравнений Максвелла на Земле в связи с обнаружением в непроводящей атмосфере Земли непотенциальных магнитных полей: эффекты Van Vleuten, Н.П. Беньковой, Д.Н. Четаева. Эффект Дж. Лармора так же как и названные эффекты потребовал определиться с пределами применимости стандартных уравнений Максвелла не только на Земле, но и в космосе [2].

Теорема 2.

Пределы применимости стандартных уравнений Максвелла ограничиваются технической физикой и любыми экспериментами с магнитными полями на Земле в связи с малыми значениями критерия подобия – магнитного числа Рейнольдса $Re_m = L\mu\sigma|V|$.

Доказательство.

Известно, что эффект Дж. Лармора вызывает дополнительное электрическое поле:

$$\mathbf{E}' = \mathbf{E} + [\mathbf{V} \times \mathbf{B}], \quad (16)$$

где \mathbf{E}' – дополнительное электрическое поле по сравнению со стандартной напряженностью \mathbf{E} , \mathbf{V} – скорость заряженной жидкости или скорость одной системы отсчета относительно другой, \mathbf{B} – магнитная индукция. Подставляя (16) во второе уравнение Максвелла, получим:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times (\mathbf{E} + [\mathbf{V} \times \mathbf{B}]). \quad (17)$$

Преобразовав первое уравнение Максвелла умножением справа и слева на магнитную проницаемость μ , например, $\nabla \times \mathbf{B} = \mu\sigma\mathbf{E}$, где σ – удельная проводимость, можно получить новое уравнение, объединением первого и второго уравнений Максвелла путем исключения электрического поля:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \frac{1}{\mu\sigma} \Delta \mathbf{B} - \nabla \times [\mathbf{V} \times \mathbf{B}]. \quad (18)$$

Уравнение (18) называют иногда уравнением индукции с динамо- слагаемым. Оно представляет первые два уравнения Максвелла. Уравнение (18) позволяет определиться с пределами применимости стандартных уравнений Максвелла, опираясь на критерий подобия – магнитное число Рейнольдса $Re_m = L\mu\sigma|V|$, где L – характерный размер, указывающий место границы между ламинарностью и турбулентностью в магнитном поле.

В земных условиях $Re_m \leq 1$ из-за малых L на Земле. Это дает возможность отбросить второе слагаемое в (18) и получить стандартное уравнение индукции для Земли:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \frac{1}{\sigma\mu} \Delta \mathbf{B}. \quad (19)$$

Уравнение (19) абсолютно верное и отражает электродинамику на Земле, полностью подчиняющуюся стандартным уравнениям Максвелла. Они абсолютно верны в этом случае.

В космической электродинамике $Re_m \square 10^{12} \div 10^{17}$ единиц из-за больших L , поэтому уравнение (18) можно переписать так:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times [\mathbf{V} \times \mathbf{B}]. \quad (20)$$

Уравнение (20) предполагает наличие турбулентности в магнитном поле в том числе из-за больших значений Re_m в космосе (из-за больших L).

В естественном электромагнитном поле на Земле, в связи со значительными размерами естественных источников критерий Рейнольдса $Re_m \approx 10^3 \div 10^5$. Поэтому в уравнении (18) нельзя отбрасывать слагаемые в правой части, что предопределяет появление гидромагнитных эффектов в естественном электромагнитном поле в атмосфере Земли (эксперименты Van Vleuten, Н.П. Беньковой, Д.Н. Четаева), которые не отражены в стандартных уравнениях Максвелла. Это требует корректировки стандартных уравнений Максвелла с учетом второго слагаемого в правой части (18). Эта корректировка закреплена теоремой 6 [2–5].

Теорема доказана.

Предпосылки к теореме 2 и сама теорема 2 ставят перед геофизической электродинамикой совершенно новую для нее проблему учета гидромагнитных эффектов при интерпретации наблюдаемых данных двух международных геофизических годов 1933 г. и 1957/58 гг. и всемирной магнитной съемки 1964/65 гг. Учет названных эффектов предопределяет введение в геофизическую электродинамику двух новых магнитных полей: тороидального магнитного поля \mathbf{H}_T и полоидального \mathbf{H}_p , а также двух новых электрических полей: тороидального электрического поля \mathbf{E}_T и полоидального \mathbf{E}_p . В физике эти поля известны и изучены автором в [3, 4] со ссылкой на более ранние публикации других авторов. В статьях [1–4] обосновано введение выше названных полей авторским способом, суть которого сводится к использованию всюду верной дивергенции магнитного поля $\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$ и тороидального разложения векторного потенциала $\mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}$ в виде $\mathbf{A} = (Q\mathbf{r}) + \nabla \times (Q\mathbf{r})$ [1, 3], где r – радиус вектор, Q – скалярная функция класса $Q \in C^\infty$. Упомянутое выше разложение позволяет однозначно ввести названные выше электромагнитные поля вне источника по формулам. Обоснование в теореме 7.

$\mathbf{H}_T = \nabla \times (Q\mathbf{r})$ – двухкомпонентное тороидальное магнитное поле,

$\mathbf{H}_p = \nabla \times \nabla \times (Q\mathbf{r})$ – трехкомпонентное полоидальное магнитное поле,

$\mathbf{E}_T = -i\omega\mu\nabla \times (Q\mathbf{r})$ – двухкомпонентное тороидальное электрическое поле,

$\mathbf{E}_p = \frac{1}{\sigma'} \nabla \nabla \cdot (Q\mathbf{r})$ – трехкомпонентное полоидальное электрическое поле. Здесь

σ' – удельная проводимость области, в которой определено электрическое поле \mathbf{E}_p .

Соответствие размерностей во введенных выше полях объясняется тем, что дифференциальные операторы в них заданы в не штрихованных координатах вне источника. Тогда как интегралы по источникам заданы в штрихованных координатах и входят в выше названные определения в виде размерных констант, которые не изменяются при дифференцировании по не штрихованным координатам определений.

Следующие три теоремы относятся к теоремам существования тороидальных и полоидальных магнитных полей.

Теорема 3.

Безвихревое векторное поле $\nabla \times \mathbf{H} = 0$ с условием $\nabla \cdot \mathbf{H} = \rho$ при $\rho = \text{const}$ не допускает генерации векторного поля $\mathbf{H}_T = \nabla \times (Q\mathbf{r})$, если $\mathbf{H} \neq 0$, $\mathbf{H}_T, \mathbf{H}_p \neq 0$.

Действительно.

Спиральность $\mathbf{H} \cdot \nabla \times \mathbf{H}$ в безвихревом векторном поле равна нулю из-за $\nabla \times \mathbf{H} = 0$, тогда как спиральность векторного поля \mathbf{H}_T нулю не равна по определению

$\mathbf{H}_T \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_T \cdot \mathbf{H}_P \neq 0$. Отсутствие совпадения спиральностей вследствие влияния возвратной симметрии исключает взаимную генерацию векторных полей \mathbf{H}_T и \mathbf{H}_P , что и требовалось доказать.

Теорема 4.

В соленоидальном векторном поле $\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$, $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{P}$ (\mathbf{P} – векторное поле) векторное поле $\mathbf{H}_T = \nabla \times (\mathbf{Qr})$ может быть сгенерировано, если $\mathbf{H} \neq 0$, $\mathbf{H}_T, \mathbf{H}_P \neq 0$, $\mathbf{P} \neq 0$.

Действительно.

Спиральности векторных полей $\mathbf{H}_T, \mathbf{H}_P$ не равны нулю. Спиральность соленоидального поля \mathbf{H} не равна нулю $\mathbf{H} \cdot \nabla \times \mathbf{H} \neq 0$, вследствие $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{P}$. Спиральность векторного поля \mathbf{H}_T также не равна нулю $\mathbf{H}_T \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T \neq 0$ из-за $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_P$. Наличие спиральностей в обоих векторных полях способствует их взаимной генерации за счёт соотношений:

$$\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_P, \quad \nabla \times \mathbf{H}_P = \nabla \times \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}) = -\nabla \times (\Delta \mathbf{Qr}) = \chi \nabla \times (\mathbf{Qr}) = \chi \mathbf{H}_T. \quad (21)$$

Здесь $\Delta \mathbf{Q} = -\chi \mathbf{Q}$, $\chi = const$. Это и требовалось доказать.

Теорема 5.

В электродинамике тороидальных и полоидальных электромагнитных полей существуют силовые в смысле силы Лоренца и несилловые электромагнитные поля при $\mathbf{H}_P, \mathbf{E}_T, \mathbf{H}_T, \mathbf{E}_P \neq 0$.

Доказательство.

Вычислим силу Лоренца для пары $\mathbf{H}_P, \mathbf{E}_T$:

$$\mathbf{F}_L = [\mathbf{j}_T \times \mathbf{B}_P] = [\sigma \mathbf{E}_T \times \mu \mathbf{H}_P] \neq 0, \quad \text{э.д.с.} = \int_L (\mathbf{E}_T \cdot d\mathbf{l}) = \int_W (\nabla \times \mathbf{E}_T \cdot d\mathbf{s}) = -\mu \int_W \left(\frac{\partial \mathbf{H}_P}{\partial t} \cdot d\mathbf{s} \right) \neq 0. \quad (22)$$

Формула (22) однозначно доказывает присутствие силы Лоренца в источниках, поэтому эти поля считаются силовыми. Сила Лоренца для пары $\mathbf{H}_T, \mathbf{E}_P$:

$$\bar{\mathbf{F}}_L = [\chi \mathbf{H}_T \times \mu \mathbf{H}_T] = 0, \quad \text{э.д.с.} = \int_L (\mathbf{E}_P \cdot d\mathbf{l}) = \int_W (\nabla \times \mathbf{E}_P \cdot d\mathbf{s}) = 0. \quad (23)$$

В формуле (23) первое выражение равно нулю из-за совпадающего направления сомножителей в векторном произведении. Во втором выражении \mathbf{E}_P есть градиент дивергенции, ротор которого всюду равен нулю. Поэтому эти поля считаются несилowymi.

Теорема доказана.

Далее, согласно теореме 2 естественное электромагнитное поле подчиняется уравнению (18) из-за $Re_m \approx 10^3 \div 10^5$ единиц. Поэтому за счёт незначительных величин критерия подобия получить турбулентность в магнитном поле естественных источников вряд ли возможно. Поэтому требуется корректировка стандартных уравнений Максвелла. Она отражена в теореме 6.

Теорема 6.

Уравнения геофизической электродинамики записываются следующим образом, если $\mathbf{j}_T, \mathbf{j}_T^{CT}, \mathbf{H}_T, \mathbf{H}_P, \mathbf{E}'_T, \mathbf{E}'_P \neq 0$.

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{H}_P &= \mathbf{j}_T + \mathbf{j}_T^{CT}, \quad \nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_P, \quad \nabla \times \mathbf{E}'_T = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \nabla \times \mathbf{E}'_P = 0, \\ \nabla \cdot (\mathbf{H}_P, \mathbf{H}_T) &= 0, \quad \nabla \cdot (\mathbf{E}'_T, \mathbf{E}'_P) = 0, \quad \mathbf{D}_{PT} = \varepsilon \mathbf{E}'_{PT}, \quad \mathbf{B}_{PT} = \mu \mathbf{H}_{PT}. \end{aligned} \quad (23')$$

где \mathbf{j}_T – двухкомпонентные тороидальные токи, \mathbf{j}_T^{CT} – сторонние двухкомпонентные тороидальные токи, ε, μ – электромагнитные константы.

Теорема доказана.

Следующая теорема указывает на источники тороидального и полоидального магнитных полей в естественном электромагнитном поле на Земле и в космосе.

Теорема 7.

Источником тороидального несилевого магнитного поля \mathbf{H}_T и силового \mathbf{H}_P являются тороидальные компоненты полного сферического электрического тока, если $\mathbf{j} \neq 0$.

Доказательство.

Оператор полного электрического тока, как известно, имеет вид:

$$\mathbf{j} = (\nabla \nabla \cdot - \nabla \times \nabla \times) \mathbf{A} \quad (24)$$

Спроектируем этот оператор на оси сферической системы координат, зафиксировав только тороидальные компоненты полного тока:

$$\begin{aligned} -j_\theta^\pi &= \frac{\partial^2 A_\theta}{\partial r^2} + \frac{2\partial A_\theta}{r\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 A_\theta}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{\cos \theta}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial A_\theta}{\partial \theta} - \frac{A_\theta}{r^2 \sin^2 \theta} - \\ & 2 \frac{\cos \theta}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2\partial A_r}{r^2 \partial \theta}, \\ -j_\varphi^\pi &= \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 r A_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\cos \theta}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial A_\theta}{\partial \varphi} - \\ & - \frac{\cos \theta}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta A_\varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial \theta \partial \varphi} + \frac{2}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial A_r}{\partial \varphi}. \end{aligned} \quad (25)$$

Сферические компоненты векторного потенциала через скалярную функцию Q можно выразить следующим образом:

$$A_\theta = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial Q}{\partial \varphi}; \quad A_\varphi = -\frac{\partial Q}{\partial \theta}; \quad A_r = rQ. \quad (26)$$

Компоненты тороидального магнитного поля по определению имеют вид:

$$H_{T\theta} = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial Q}{\partial \varphi}; \quad H_{T\varphi} = -\frac{\partial Q}{\partial \theta}; \quad H_{Tr} \equiv 0. \quad (27)$$

Анализ формулы (25) показывает, что проекции уравнения для полного тока на оси сферической системы координат имеют среди слагаемых следующие выражения:

$$\frac{2\partial A_r}{r^2 \sin \theta \partial \varphi} = \frac{2}{r \sin \theta} \frac{\partial Q}{\partial \varphi} = \frac{2}{r} H_{T\theta}; \quad \frac{2\partial A_r}{r^2 \partial \theta} = \frac{2}{r} \frac{\partial Q}{\partial \theta} = -\frac{2}{r} H_{T\varphi}. \quad (28)$$

С учётом формул (26) правые части выражений (28) как раз и есть удвоенные компоненты тороидального магнитного поля, отнесённые к текущему радиусу, что даёт им размерность плотности тока.

Теорема доказана.

Таким образом, тороидальные компоненты сферической плотности тока всегда порождают тороидальные несилевого компоненты тороидального магнитного поля. Этот факт из теоремы 7 имеет принципиальный характер для областей с малыми значениями критерия подобия, так как для возникновения несилевого тороидального магнитного поля в них не нужна турбулентность в магнитном поле, конвекция вещества и неравномерное вращение космических объектов.

Следующая фундаментальная теорема геофизической электродинамики касается разделения суммарного вихревого магнитного поля, наблюдаемого на регулярной

границе и создаваемого тороидальными токами, на тороидальную и полоидальную части [5].

Теорема 8.

Вихревое векторное поле \mathbf{H} в сферической области V (в шаре с поверхностью S и радиусом R) однозначно разделяется (восстанавливается) выражением:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_T + \mathbf{H}_p = \nabla \times (\mathbf{Qr}) + \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}), \quad (29)$$

если известна нормальная составляющая $H_N(\mathbf{r})$ на S , а функция $Q(r, \theta, \varphi) \in C^\infty$,

среднее которой $\langle Q \rangle = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi Q \sin \theta d\theta d\varphi = 0$ на S , а также $\mathbf{H}, \mathbf{H}_T, \mathbf{H}_p \neq 0$ и $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$

всюду.

Доказательство.

Если векторное поле \mathbf{H} отвечает (29), то, чтобы доказать единственность разложения (29), необходимо выразить функцию Q через исходную нормальную компоненту векторного поля \mathbf{H}_p или $\nabla \times \mathbf{H}_T$. Например,

$$\begin{aligned} (\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p) &= \mathbf{r} \cdot \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}) = \mathbf{r} \cdot \{ \nabla \nabla \cdot (\mathbf{Qr}) - \nabla^2 (\mathbf{Qr}) \} = \mathbf{r} \cdot \{ \nabla [\mathbf{r} \cdot \nabla Q + 3Q] - 2\nabla Q - \mathbf{r} \nabla^2 Q \} = \\ &= -r^2 \nabla^2 Q + \mathbf{r} \cdot \nabla (\mathbf{r} \cdot \nabla Q) + \mathbf{r} \cdot \nabla Q = -r^2 \nabla^2 Q + \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \frac{\partial Q}{\partial r}) = -DQ, \end{aligned} \quad (30)$$

$$(\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T) = \mathbf{r} \cdot \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr}) = -DQ.$$

Здесь D – прямой оператор (оператор Бельтрами) определяется из (29), а именно:

$$D = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}, \quad (31)$$

и является частью оператора Лапласа без радиальных производных. Из (30) следует, что:

$$Q = -D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p) = -D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T), \quad (32)$$

где D^{-1} – обратный оператор к оператору D , подлежащий определению.

Чтобы найти Q , необходимо определить прямой D и обратный D^{-1} операторы. Обратный оператор D^{-1} определяется следующим образом. Пусть $\psi(r, \theta, \varphi)$ и $f(r, \theta, \varphi)$ – произвольные скалярные функции, связанные соотношением:

$$D\psi(r, \theta, \varphi) = f(r, \theta, \varphi). \quad (33)$$

При этом функции $\psi(r, \theta, \varphi)$ и $f(r, \theta, \varphi) \in C^\infty$, среднее у которых на S равно нулю $\langle \psi \rangle = 0$, $\langle f \rangle = 0$. Обозначим:

$$S_n(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^n A_n^m P_n^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, \quad (34)$$

где $P_n^m(\cos \theta)$ – сферические функции, A_n^m – комплексные постоянные $S_n^m(\theta, \varphi) \in C^\infty$. Далее представим вспомогательные функции ψ, f их стандартными разложениями по сферическим функциям:

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) S_n(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \psi_n(r) A_n^m P_n^m(\cos \theta) e^{im\varphi}; \quad f = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n^m(\theta, \varphi). \quad (35)$$

Суммирование по n начинается с единицы, свободный член отсутствует в связи наложенным условием нулевых средних для функций Q, ψ, f на сфере S . При этом функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$ для $r \leq R$ пропорциональны r^n , а для $r \geq R$ соответственно $\frac{1}{r^{n+1}}$.

Применим прямой оператор D к функции $S_n(\theta, \varphi)$, воспользовавшись результатом (30):

$$DS_n(\theta, \varphi) = -n(n+1)S_n(\theta, \varphi). \quad (36)$$

Действительно, с учетом (29) и условий на функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$, можно записать:

$$\begin{aligned} -r^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} r^n S_n(\theta, \varphi) + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} r^n S_n(\theta, \varphi) \right) &= D r^n S_n(\theta, \varphi); & \text{отсюда} \\ -n(n+1)S_n(\theta, \varphi) &= DS_n(\theta, \varphi), \\ -r^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi) + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi) \right) &= D \frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta, \varphi); \\ -n(n+1)S_n(\theta, \varphi) &= DS_n(\theta, \varphi), \end{aligned}$$

Такая запись представляется наиболее удобной, так как в операторе D функции дифференцируются только по угловым координатам, согласно (30). Теперь применим к (32) оператор D и с учетом ранее полученных разложений функций ψ и f получим:

$$D\psi = -\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) n(n+1) S_n(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n(\theta, \varphi). \quad (37)$$

Функции $S_n(\theta, \varphi)$ и $\bar{S}_n(\theta, \varphi)$ отличаются только комплексными коэффициентами. Приравняем общие члены в (37), помня об абсолютной и равномерной сходимости рядов разложений функций ψ, f по сферическим функциям. Разделим правую и левую части на множитель $n(n+1)$. В результате получим:

$$\psi_n(r) S_n(\theta, \varphi) = -f_n(r) \frac{\bar{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (38)$$

Просуммировав все гармоники в (37), будем иметь:

$$\psi = -D^{-1} f = -\sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \frac{S_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (39)$$

Формула (39) есть определение обратного оператора D^{-1} . Обратный оператор в (39), с нашей точки зрения, является более конструктивным для данной задачи, чем разработанный ранее интегральный обратный оператор для оператора Бельтрами, содержащий функцию Грина. Применим обратный оператор:

$$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} r H_{Pn}(r) \frac{\tilde{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)} = -\sum_{n=1}^{\infty} r (\nabla \times H_T)_m(r) \frac{S'_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}. \quad (40)$$

Если учесть, что при $r = R$ имеем $H_{Pn}(R) = H_{Nn}(R)$,

$$H_N(r) = \sum_{n=1}^{\infty} H_{Nn}(R) S_n''(\theta, \varphi), \quad (41)$$

$$\nabla \times H_T = \nabla \times \nabla \times (Qr) = H_P, \text{ то}$$

$$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} R H_{Nn}(R) \frac{\tilde{S}_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)}, \quad (42)$$

где R – радиус шара.

Функция Q определяется однозначно и позволяет по отдельности вычислить вихревое тороидальное магнитное поле \mathbf{H}_T и вихревое полоидальное магнитное поле \mathbf{H}_P , согласно (29).

Теорема доказана.

Для геофизической электродинамики весьма актуальной является проблема отделения тороидальных и полоидальных магнитных полей источников, находящихся как внутри шара, так и вне его. Решение этой проблемы дает теорема 9. Эта теорема является аналогом известной классической теоремы Гаусса-Шмидта о разделении главного геомагнитного поля на внешнее и внутреннее.

Теорема 9.

Отделение тороидальных и полоидальных векторных полей источников, расположенных за пределами шара, разрешимо единственным образом, если известны внешняя нормальная компонента $H_N(\mathbf{r})$ и одна из двух касательных компонент $H_\tau(\mathbf{r})$ суммарного векторного поля \mathbf{H} на поверхности S шара V .

Доказательство.

Пусть на S известна суммарная скалярная функция $Q = Q^e + Q^i$, состоящая из внешней Q^e и внутренней Q^i частей. С учетом формул (42) можно записать на поверхности S :

$$Q^e + Q^i = -\sum_{n=1}^{\infty} R \frac{S_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)} \left[A_n \frac{1}{R^{n+1}} + B_n R^n \right], \quad (43)$$

где A_n и B_n – комплексные постоянные, соответственно внешней A_n и внутренней B_n функции Q . Тороидальные и полоидальные компоненты магнитного поля на поверхности шара S вычисляются с использованием определений \mathbf{H}_T и \mathbf{H}_P :

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_T &= \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} (Q^e + Q^i) e_\theta - \frac{\partial}{\partial \theta} (Q^e + Q^i) e_\varphi, \\ \mathbf{H}_P &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial \theta} (Q^e + Q^i) e_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial \varphi} (Q^e + Q^i) e_\varphi - \\ &- \frac{1}{r \sin \theta} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} (Q^e + Q^i) - \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} (Q^e + Q^i) \right) e_r. \end{aligned} \quad (44)$$

Помня о зависимости функции Q от радиуса r для внешних и внутренних источников и опуская элементарные выкладки, запишем компоненты полоидального поля следующим образом:

$$\begin{aligned} H_{P\theta} &= -\frac{n}{r^{n+2}} \frac{\partial}{\partial \theta} Q^e + (n+1) r^{n-1} \frac{\partial}{\partial \theta} Q^i, \\ H_{P\varphi} &= -\frac{n}{r^{n+2}} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} Q^e + (n+1) r^{n-1} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} Q^i, \\ H_{Pr} &= \frac{1}{r \sin \theta} \left[\cos \theta \frac{\partial (Q^e + Q^i)}{\partial \theta} + \sin \theta \frac{\partial^2 (Q^e + Q^i)}{\partial \theta^2} - \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 (Q^e + Q^i)}{\partial \varphi^2} \right] \end{aligned} \quad (45)$$

Учитывая формулы (43), (44) запишем касательные компоненты суммарного магнитного поля и его нормальную компоненту в следующем виде:

$$H_{\tau\theta} = -\sum_{n=1}^{\infty} X_n(\theta, \varphi) \frac{1}{n(n+1)} \left[-A_n \frac{n}{R^{n+1}} + B_n (n+1) R^n \right],$$

$$H_{\tau\varphi} = -\sum_{n=1}^{\infty} Y_n(\theta, \varphi) \frac{1}{n(n+1)} \left[-A_n \frac{n}{R^{n+1}} + B_n(n+1)R^n \right], \quad (46)$$

$$H_N = \sum_{n=1}^{\infty} Z_n(\theta, \varphi) \frac{1}{n(n+1)} \left[A_n \frac{1}{R^{n+1}} + B_n R^n \right].$$

Здесь $X_n(\theta, \varphi), Y_n(\theta, \varphi), Z_n(\theta, \varphi) \in C^\infty$ – сложные угловые функции, производные от известной функции $S_n(\theta, \varphi)$. Формулы (46) указывают на то, что любая пара, составленная из одной касательной компоненты и нормальной, позволяет разделить коэффициенты внешних и внутренних относительно поверхности S векторных полей единственным образом, поскольку определитель разделяющих уравнений отличен от нуля:

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{R^{n+1}}, & R^n \\ -\frac{n}{R^{n+1}}, & (n+1)R^n \end{vmatrix} = \frac{(2n+1)}{R}. \quad (47)$$

Раздельное вычисление Q^e и Q^i позволяет восстановить на поверхности шара S полоидальное и тороидальное векторные поля как от источников, расположенных внутри шара, так и от внешних источников.

Теорема доказана.

В геофизической электродинамике актуальной остается проблема о возможности воспроизведения тороидальных и полоидальных магнитных полей с помощью одной скалярной функции. Следующая теорема решает эту проблему.

Теорема 10.

Тороидальные несилловые и полоидальные силловые электромагнитные поля воспроизводятся с помощью одной скалярной функции Q .

Доказательство.

Скалярная функция Q определяется с помощью следующих обратных операторов:

$$Q = -D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p) = -D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T), \quad (48)$$

где D^{-1} – обратный оператор к оператору D , подлежащий определению.

Принимая во внимание тороидальное разложение для $\mathbf{A}(\mathbf{r})$, можно показать, что если в формуле для $\mathbf{A}(\mathbf{r})$ использованы две произвольные скалярные функции вида $A(r) = (Tr) + \nabla \times (Qr)$, то, поскольку векторное магнитное поле \mathbf{H}_T не содержит нормальную компоненту к поверхности шара S и не может быть однозначно определено согласно теореме Гельмгольца, то на тороидальное магнитное поле \mathbf{H}_T необходимо наложить условие $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$. Тогда прямые операторы $-DQ = (\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p)$ и $-DT = (\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T)$ будут иметь следующие обратные: $-D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p)$ и $-D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{H}_T) = -D^{-1}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{H}_p)$. Это означает, что $T = Q$, и поэтому в выражении для $\mathbf{A}(\mathbf{r})$ достаточно использовать одну произвольную скалярную функцию, в данном случае функцию Q . В этом случае компоненты электромагнитного поля можно выразить через одну скалярную функцию или три компоненты векторного потенциала в виде:

$$\begin{aligned}
 H_{r\theta} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial \theta} (Qr) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r A_\varphi, \\
 H_{r\varphi} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} (Qr) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r A_\theta \\
 H_{r\theta} &= -\frac{1}{r^2 \sin \theta} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial(Qr)}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial(Qr)}{\partial \varphi} \right) = \\
 &= -\frac{1}{r \sin \theta} \left(-\frac{\partial}{\partial \theta} \frac{1}{\sin \theta} A_\varphi + \frac{\partial A_\theta}{\partial \varphi} \right), \\
 H_{T\theta} &= \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} (Qr) = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} A_r, \quad H_{T\varphi} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (Qr) = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} A_r, \\
 E_{T\theta} &= -i\omega\mu \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} (Qr) = -i\omega\mu A_\theta, \quad E_{T\varphi} = -i\omega\mu \left(-\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (Qr) \right) = -i\omega\mu A_\varphi, \\
 E_{r\theta} &= \frac{1}{\sigma'} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 (Qr) = \frac{1}{\sigma'} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 A_r, \\
 E_{r\varphi} &= \frac{1}{\sigma'} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 (Qr) = \frac{1}{\sigma'} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 A_r, \\
 E_{Pr} &= \frac{1}{\sigma'} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 (Qr) = \frac{1}{\sigma'} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 A_r.
 \end{aligned} \tag{49}$$

Теорема доказана.

Доказательство предыдущих теорем создали предпосылки для доказательства теоремы о взаимной генерации тороидальных и полоидальных магнитных полей как в естественных условиях (в космосе), так и в экспериментах в токамаках и пробкотронах [4, 7].

Теорема 11.

Взаимодействие тороидальных и полоидальных магнитных полей при определенных условиях приводит их к взаимной генерации.

Доказательство.

По определению $\mathbf{H}_T = \nabla \times (\mathbf{Qr})$, $\mathbf{H}_P = \nabla \times \nabla \times (\mathbf{Qr})$. Вихри этих полей (21):

$$\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_P, \quad \nabla \times \mathbf{H}_P = \chi \mathbf{H}_T,$$

При определенных значениях напряженности \mathbf{H}_T и \mathbf{H}_P , а также при достаточной величине константы $\chi \neq 0$, эти поля взаимно генерируют друг друга.

Теорема доказана.

В семидесятых годах прошлого века в научной печати подвергалась острой дискуссии так называемая проблема E_z , а именно наличие вертикальной компоненты электрического поля коротко-периодических вариаций земного поля в атмосфере Земли. Из эксперимента Д.Н. Четаева природа этой компоненты оставалась не достаточно ясной, а именно какова природа этой компоненты – индукционная или потенциальная. Теорема 12 дает однозначный ответ на этот дискуссионный вопрос. Полная формула для электрического поля с индукционным слагаемым имеет вид [6]:

$$\mathbf{E}_P = -i\omega\mu(\mathbf{Qr}) + \frac{1}{\sigma'} \nabla \nabla \cdot (\mathbf{Qr}). \tag{50}$$

Теорема 12.

Индукционное слагаемое $-i\omega\mu(\mathbf{Qr})$ компенсируется потенциальным слагаемым $\frac{1}{\sigma'} \nabla \nabla \cdot (\mathbf{Qr})$ если $(\mathbf{Qr}) \neq 0$.

Доказательство.

Для доказательства разобьём пространство на две части относительно регулярной границы S . Внутреннюю часть представим функцией $Q^i(r, \theta, \varphi, t)$ и её разложением:

$$Q^i(r, \theta, \varphi, t) = \sum_{n=1}^{\infty} K_{n+1/2}(\alpha \frac{r}{R}) S_n(\theta, \varphi). \quad (51)$$

Здесь $K_{n+1/2}(\alpha \frac{r}{R})$ – присоединённая функция Бесселя полуцелого индекса $\alpha = i\omega\mu\sigma R^2 - \varepsilon\omega^2\mu R^2$, $S_n(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^n A_n^m P_n^m(\cos\theta) e^{im\varphi}$, $S_n(\theta, \varphi) \in C^\infty$, R – радиус области, отделенной регулярной границей S , r – текущий радиус.

Внешнюю часть представим функцией $Q^e(r, \theta, \varphi, t)$:

$$Q^e(r, \theta, \varphi, t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{n+1/2}(\alpha \frac{r}{R}) S_n(\theta, \varphi). \quad (52)$$

Здесь и в (51) A_n^m – комплексные постоянные, $P_n^m(\cos\theta)$ – сферические функции. Множитель $e^{i\omega t}$ в правой и левой частях формул (51) и (52) опущен. Аргументы Бесселевых функций отделены от нуля и бесконечности.

Для доказательства потребуются первые и вторые производные Бесселевых функций, входящих в (51) и (52). Чтобы не загромождать текст выкладками, проведем доказательство только для функции $Q^i(r, \theta, \varphi, t)$. Для функции $Q^e(r, \theta, \varphi, t)$ доказательство проводится аналогично. Сложением результатов для внутренней функции и внешней можно легко получить окончательный результат. Итак, производные функции $Q^i(r, \theta, \varphi, t)$ по координате r есть:

$$\frac{\partial Q^i}{\partial r} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) K'_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) = \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) \left[-\frac{\alpha}{R} K_{n-1/2}(\frac{\alpha r}{R}) - \frac{n+1/2}{r} K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) \right], \quad (53)$$

$$\frac{\partial^2 Q^i}{\partial r^2} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) K''_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) = \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) \left[\left(\frac{(n+1/2)(n+3/2)}{r^2} + \frac{\alpha^2}{R^2} \right) K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) + \frac{\alpha}{rR} K_{n-1/2}(\frac{\alpha r}{R}) \right].$$

Преобразуем радиальную компоненту из (50), опустив верхний штрих:

$$E_{Pr}^i = -i\omega\mu Q^i r + \frac{1}{\sigma'} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 Q^i r = \frac{1}{\sigma'} \left[-\bar{\alpha}^2 Q r + r \frac{\partial^2 Q^i}{\partial r^2} + 4 \frac{\partial Q^i}{\partial r} \right]. \quad (54)$$

В (53) и (54) аргументы у функции $Q^i(r, \theta, \varphi, t)$ опущены из-за экономии места.

Теперь вычислим радиальную компоненту E_{Pr}^i :

$$E_{Pr}^i = \frac{1}{\sigma'} \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) \left[-\bar{\alpha}^2 r K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) + r \left(\frac{(n+1/2)(n+3/2)}{r^2} + \frac{\alpha^2}{R^2} \right) K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) + \frac{\alpha}{R} K_{n-1/2}(\frac{\alpha r}{R}) - \frac{4\alpha}{R} K_{n-1/2}(\frac{\alpha r}{R}) - \frac{4(n+1/2)}{r} K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) \right]. \quad (55)$$

В (55) необходимо привести подобные члены с учётом того, что $\alpha^2 = \bar{\alpha}^2 R^2$. В результате получим:

$$E_{Pr}^i = \frac{1}{\sigma'} \sum_{n=1}^{\infty} S_n(\theta, \varphi) \left[-\bar{\alpha}^2 r K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) + \bar{\alpha}^2 r K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) + \frac{n(n-2)-5/4}{r} K_{n+1/2}(\frac{\alpha r}{R}) - \frac{3\alpha}{R} K_{n-1/2}(\frac{\alpha r}{R}) \right]. \quad (56)$$

Нетрудно заметить, что в (56) индукционное слагаемое исчезает. Остаётся только потенциальная часть. Аналогичный результат достигается и для E_{Pr}^e . Поэтому тороидальное и полоидальное электрические поля для $t > 0$ можно определить следующим образом [6]:

$$E'_T = -i\omega\mu\nabla \times (Qr), \quad E'_P = \frac{1}{\sigma'} \nabla \nabla \cdot (Qr). \quad (57)$$

E_{Pz} – потенциальна согласно (57).

Теорема доказана.

Фундаментальной проблемой для геофизической электродинамики остается состояние калибровок Кулона и Лоренца в векторном потенциале при его тороидальном ортогональном разложении в (2) и (3). Следующая теорема дает ответ на этот вопрос.

Теорема 13.

Калибровочные условия Кулона $\nabla \cdot A = 0$ или Лоренца $\nabla \cdot A = \sigma\varphi$ для вспомогательного векторного поля A однозначно выполняются, если

$$Q(r, \theta, \varphi) = Q(\theta, \varphi) / r^3. \quad (58)$$

Действительно.

Из разложения (2) следует, что

$$A = (Qr) + \nabla \times (Qr) + \nabla \varphi. \quad (59)$$

Вычислим дивергенцию от векторного поля (59):

$$\nabla \cdot A = \nabla \cdot (Qr) + \nabla \cdot \nabla \times (Qr) + \nabla \cdot \nabla \varphi. \quad (60)$$

В равенстве (60) второе слагаемое равно нулю по определению для дивергенции ротора. Первое слагаемое также равно нулю из-за условия (67):

$$\nabla \cdot (Qr) = Q\nabla \cdot r + r\nabla Q = \frac{3}{r^3} Q(\theta, \varphi) - \frac{3}{r^3} Q(\theta, \varphi) \equiv 0. \quad (61)$$

В третьем слагаемом рассматриваются два варианта:

$$\Delta \varphi = \begin{cases} 0 \\ \sigma\varphi \end{cases}. \quad (62)$$

где: $\sigma = const$.

Из формул (59-62) следуют два указанных варианта калибровок вспомогательного векторного поля A : калибровка Кулона $\nabla \cdot A = 0$ или калибровка Лоренца $\nabla \cdot A = \sigma\varphi$. Теорема доказана.

Важным результатом выше названных теорем является доказательство наличия несилового тороидального магнитного поля в главном геомагнитном поле Земли до 10% напряженности, а также в его спокойных солнечно-суточных вариациях до 40% напряженности в атмосфере Земли [8, 9].

Теорема 14.

Тороидальное несиловое магнитное поле содержится в наблюдаемых данных солнечно-суточных вариаций в атмосфере Земли.

Доказательство занимает 133 страницы в монографии [8].

Теорема 15.

Полоидальное силовое магнитное поле и тороидальное несиловое содержатся в наблюдаемых данных двух МГТ 1933 г. и 1957/58 гг., а также в данных всемирной магнитной съемки 1964/65 гг.

Доказательство занимает 268 страниц и содержится в монографии [9].

Заключение

Сформулированные выше и доказанные теоремы формируют облик геофизической электродинамики в рамках нового научного направления –

математическая геофизика, введённого в научный оборот академиками АН СССР М.М. Лаврентьевым и А.С. Алексеевым.

1. Аксёнов В.В. О некоторых соленоидальных векторных полях в сферических областях // Дифференциальные уравнения. – 2012. – Т. 48, № 7. – С. 1056–1059.
 2. Аксёнов В.В. Адаптация электродинамик Максвелла-Паркера-Моффата к электромагнитным полям, наблюдаемым в атмосфере Земли // Изв. ВУЗов. Физика. – 2017. – Т. 60, № 3. – С. 11–18.
 3. Аксёнов В.В. Тороидальное разложение векторного потенциала магнитного поля и его приложения // ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2015, № 6. – С. 127–133.
 4. Аксёнов В.В. Несиловые и силовые электромагнитные поля // Изв. ВУЗов. Физика. – 2016. – Т. 59, № 3. – С. 3–10.
 5. Аксёнов В.В. Несиловые электромагнитные поля в экспериментах // Сб. статей XIII межд. конф. Наука России. Цели и задачи. – С. 63–70.
 6. Аксёнов В.В. Основы геомагнетизма. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2012. – 133 с.
 7. Аксёнов В.В. О взаимной генерации магнитных полей в токамаках и её подавлении // Изв. ВУЗов. Физика. – 2018. – Т. 61, № 9. – С. 171–172.
 8. Аксёнов В.В. Тороидальное поле в атмосфере Земли. – Новосибирск: ИВМиМГ СО АН СССР, 1997. – 132 с.
 9. Аксёнов В.В. Электромагнитное поле Земли. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2010. – 269 с.
-

РАЗДЕЛ XVI. ХИМИЯ

Шарифуллин А.В., Камара М., Байбекова Л.Р.

Современные представления о генезисе образования смол и асфальтенов в условиях пласта

*Казанский национальный исследовательский технологический университет
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-29

idsp: sciencerussia-10-04-2020-29

Существует несколько теорий естественного образования асфальтено-смолистых веществ. Они имеют как биологическую, так и чисто химическую составляющую. Но, в целом образование асфальтеновых смолистых веществ в земной коре начинается, когда осадки, содержащие сапропелевое органическое вещество, погружаются под весом более молодых отложений, которые накапливаются над ними и разлагаются под воздействием температур и давления (пиролиз). Этот процесс термического разложения происходит в крайне медленно. Скорость выпадения осадков составляет от 50 до 300 м / млн. года.

Пиролиз внутри земной коры с образованием асфальтеновых смолистых веществ (АСВ) и керогена

Искусственное старение (созревание) керогена и осуществление основной фазы образования асфальтеновых смолистых веществ в лабораторных условиях по своим результатам значительно отличаются от процессов, происходящих в земной коре.

Дело в том, что разрушение керогенного матрикса и образование асфальтеновых смолистых веществ требуют (в лабораторных условиях) значительно более высоких температур, поэтому при искусственном пиролизе керогена необходимо прибегать к нагреванию от 400 ° С и выше, при этом образование асфальтеновых смолистых веществ в земной коре происходит при 130-150 ° С, но, вероятно, длится несколько миллионов лет.

При отсутствии кислорода в осадочном слое возможна только активность анаэробных бактерий. Эти бактерии извлекают кислород и азот, которые им необходимы из вещества. Остаток называется «кероген», смесь соединений с очень высокой молекулярной массой, состоящая в основном из углерода и водорода. Эта активность наблюдается на глубине порядка тысячи метров в земном слое. Он составляет последнюю биологическую часть цикла трансформации.

Тектоника плит приводит к тому, что «исходная порода», осадочный слой, содержащий кероген, опускается со скоростью от нескольких метров до нескольких десятков метров на миллион лет[1]. Во время погружения кероген подвергается все более высоким давлениям и температурам. На глубине нескольких тысяч метров, когда температура достигла достаточно высокого значения (от 130 до 150 ° С) и в отсутствие кислорода кероген начинает разлагаться под воздействием тепла.

Следовательно, ясно, что состав продуктов пиролиза керогена отличается от состава углеводородов нефти, по крайней мере, потому что продукты пиролиза обычно содержат большое количество олефинов, в частности 1-алкенов, которые никогда не наблюдалось в маслах. В целом состав высокотемпературного пиролиза керогена несколько напоминает состав продуктов пиролиза некоторых сланцев. В то же время при длительном нагревании при низкой температуре керогена постепенно образуются углеводороды. Здесь процессы перераспределения водорода имеют время, характерное для превращений органических соединений, адсорбированных на алюмосиликатах (глинах), и, следовательно, образуются насыщенные ароматические углеводороды,

которые могут привести к образованию веществ. смолистый асфальт, то есть образуются смеси углеводородов, состав которых ближе к нефти (рис.1)

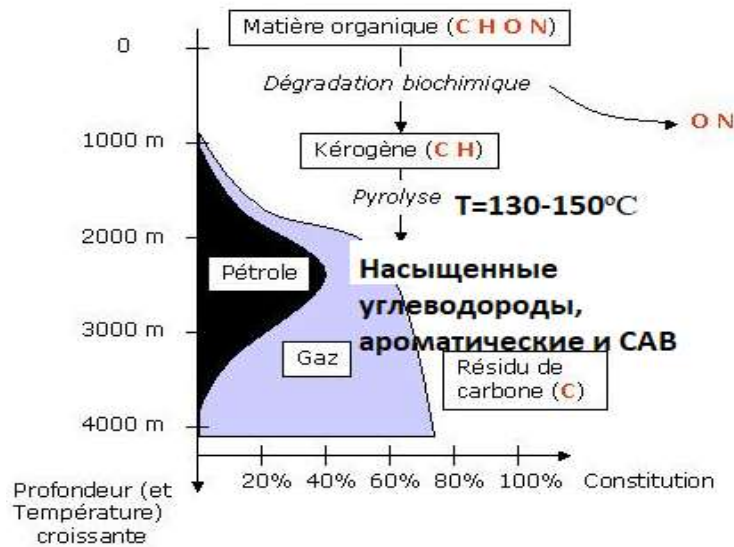


Рис.1 Пиролиз в земной коре, приводящий к образованию асфальтеновых смолистых веществ.[2]

На больших глубинах углеводороды, образующиеся в результате пиролиза, могут подвергаться реакциям крекинга. Затем они превращаются в более легкие и легкие алканы, вплоть до метана CH_4 : самый простой из алканов и основной компонент природного газа (от 70 до 95%). От одного депозита к другому, переменные количества могут быть найдены:

1. этан, пропан и бутан: газообразные алканы при комнатной температуре и давлении
2. алканы с 5-8 атомами углерода, которые сжижаются при комнатной температуре и атмосферном давлении с образованием конденсата природного газа
3. сероводород.
4. диоксид азота, углекислый газ.

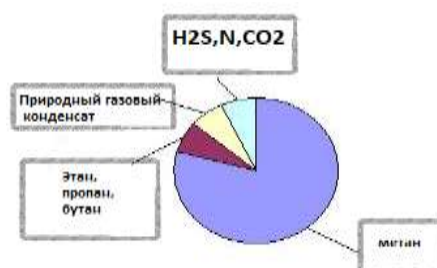


Рис.2. Состав природного газа в земной коре

Следует отметить, что пятая часть запасов природного газа образуется не в результате пиролиза керогена, а в результате разложения органических веществ бактериями. Затем мы говорим о биогенном газе, а не о термогенном газе.

Что касается угля, существует особый тип керогена, в котором могут образовываться асфальтеновые смолистые вещества.

Уголь образуется из органических веществ высших растений (деревьев, папоротников ...).

Его пиролиз приведет к соединениям, которые все больше богаты углеродом (древесина содержит около 50% углерода): торф (от 50 до 55%), лигнит (от 55 до 75%),

древесный уголь (75. 90%) и антрацит (> 95%), который сам является углеродом и содержит асфальтовые смолистые вещества. Как и другие керогены, нефть и природный газ образуются при пиролизе угля.

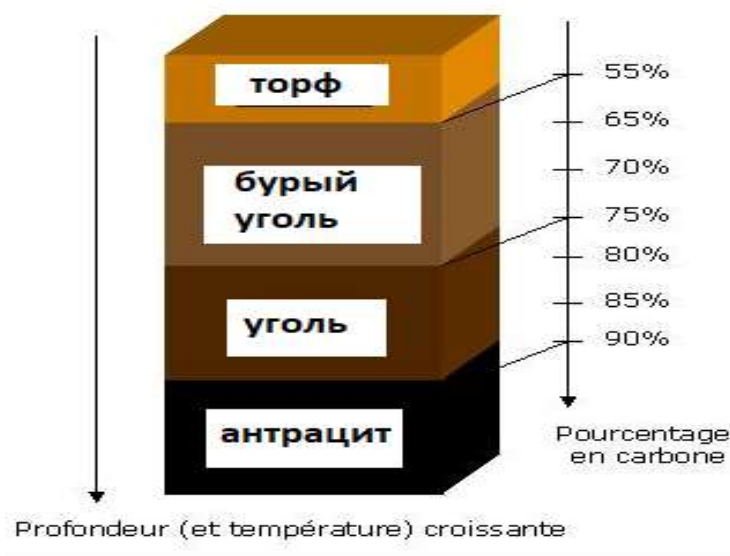


Рис.3 Пиролиз углеобразования, содержащий асфальтеновые смолистые вещества (АСВ)[3]

Химизм образования асфальтеновых смолистых веществ (АСВ)

Асфальтосмолистые вещества присутствуют в нефти и образуются на разных этапах геохимической истории органического вещества:

Первым источником асфальтовых смолистых веществ является их биосинтез в живой материи организмов.

Вторым источником асфальтовых смолистых веществ нефти является процесс микробной обработки исходного органического вещества, происходящий на стадии диагенеза осадков.

Биомолекулы мертвых организмов обладают различной устойчивостью к биохимическим воздействиям и превращаются в осадки в более стабильных соединениях при данных условиях, включая асфальтовые смолистые вещества.

Спирты и альдегиды могут превращаться в асфальтосмолистые вещества; возможно превращение циклических терпеноидов в циканы и арены.

Третьим и основным источником асфальтосмолистых веществ является их образование в основном из липидных компонентов органического вещества при его термическом (или термокаталитическом) разрушении при 90-160 ° С во время проявления основной фазы нефтеобразования.

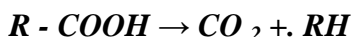
Для высокомолекулярных n-алканов они способствуют образованию асфальтосмолистых веществ посредством трех основных источников образования, которые, среди прочего: n-алканы синтезируются в живых организмах; высокомолекулярные алифатические одноатомные спирты, которые входят в состав воска живого вещества, и высшие насыщенные одноосновные жирные кислоты.

В живом веществе широко распространены n-алканы C_nH_{2n+2} с нечетным числом атомов углерода[5]. Часть высокомолекулярных n-алканов напрямую наследуется нефтью из исходного органического вещества осадков. В зависимости от исходного органического вещества они имеют свои особенности. В хемосинтетических бактериях были обнаружены

C₁₂-C₃₁ n-алканы с примерно одинаковым числом нечетных и четных атомов углерода; в фотосинтезирующих бактериях - n-алканы C₁₄-C₂₉. Сине-зеленые

водоросли содержат больше C 15 -C 20 н-алканов, более 80% из них - углеводороды с более высокой молекулярной массой.

Высшие растения характеризуются более высокомолекулярными н-алканами: C 23 -C 35 с преобладанием C 25, C 27 и C 29 с массовым соотношением нечетных углеводородов даже более 10. Эти характеристики н-алканов также часто появляются масла, связанные с образованием морского планктонного органического вещества или керогена, в котором важную роль играют остатки почвенной растительности. Определенное количество н-алканов образуется при биохимическом превращении жирных кислот, спиртов и альдегидов на стадии диагенеза осадков. Однако значительно большее их количество образуется при высоких температурах (100-150 ° C) во время проявления основной фазы образования асфальтов смолистых веществ (АСВ), в основном за счет декарбоксилирования насыщенных жирных кислот высшее одноосновное по схеме:



Спирты, ненасыщенные жирные кислоты и, возможно, аминокислоты также могут быть источниками н-алканов, которые, в свою очередь, способствуют образованию битумных смолистых веществ.

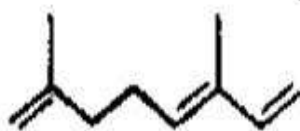
Биосинтетические углеводороды являются одним из источников битумных смолистых веществ, среди которых широко распространены разветвленные алканы, такие как 2-метилалканы и 3-метилалканы с преобладанием нечетного числа атомов углерода. жив. Значительное количество разветвленных алканов образуется при проявлении основной фазы нефти и при интенсивном термическом разрушении липидов.

В этих реакциях образуются насыщенные и ненасыщенные углеводороды. Полученные алканы, по словам А. И. Богомолва, претерпевают ряд превращений во время каталитического действия, приводящих к разветвленным алканам. Они также могут образовываться из-за отделения алкильных радикалов от стероидных углеводородов.

Конкретной группой разветвленных алканов являются углеводороды C 10 -C 40, присущие маслам с регулярным чередованием метильных групп - так называемые изопреноидные алканы (изопренаны). В определенной степени их источником являются непосредственно биосинтетические изопреноидные углеводороды, которые способствуют образованию асфальтеновых смолистых веществ, содержащихся в живых эфирных маслах, но в основном их кислородсодержащие производные с изопреноидной структурой: спирты, альдегиды, кетоны, сложные эфиры, карбоновые кислоты, которые являются частью молекулярной структуры органического вещества в породе. Изопреноидные структуры живой материи:



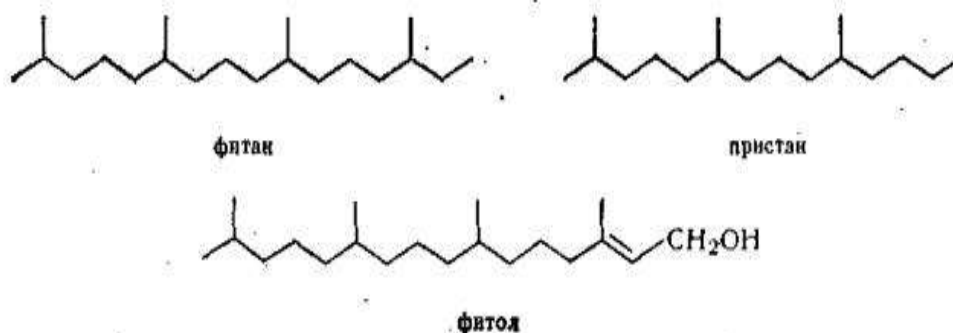
мирцен



оцимен

Изопреноидные алканы включают специфичные для масла изоалканы, такие как фитан (C 20 H 42) и пристан (C 19 H 40), которые образуются из ненасыщенного фитолового спирта (C 20 H 39 OH), который является частью всех зеленых растений хлорофилла.

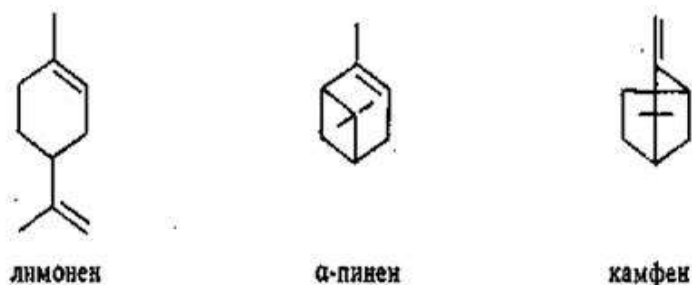
Изоалкан также обнаружен непосредственно в организме многих морских животных, которые в результате массовой гибели способствуют образованию асфальтово-смолистых веществ.



Предполагается, что первым этапом образования изоалканов является дегидратация фитола с образованием фитадиена. Затем с диспропорцией водорода и насыщением диена образуется фитан. В то же время происходят и другие реакции, связанные с разрушением углеродной цепи и образованием изопреноидных углеводов с меньшим количеством атомов углерода.

Несмотря на вклад алканов в образование асфальтосмолистых веществ, циклоалканы (нафтены) представляют собой класс углеводородов, очень характерных для природных масел и впервые обнаруженных в нефти В. В. Марковниковым [4], которые в свою очередь участвуют в образовании асфальтосмолистых веществ в нефти. Их содержание масла составляет от 25 до 75%.

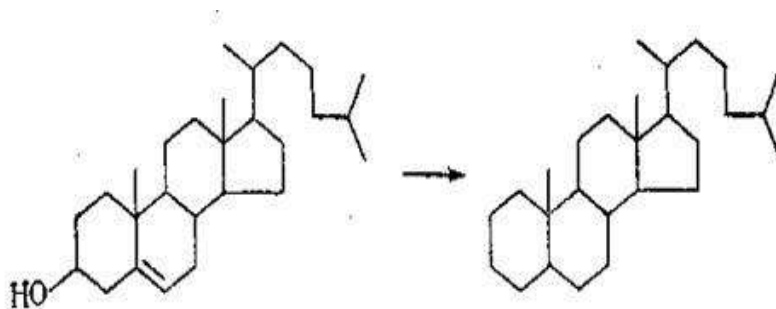
В небольшой степени источником циклоалканов в нефти могут быть определенные биосинтетические углеводороды живого вещества, такие как моноциклический лимонен, α-пинен, камфен, полициклические углеводороды, такие как β-каротин:



Однако наиболее важным источником циклоалканов в масле являются кислородсодержащие производные различных циклических терпенов (монотерпены (C₁₀ H₁₆), сесквитерпены (C₁₅ H₂₄), дитерпены (C₂₀ H₃₂), тритерпены (C₃₀ H₄₈) и тетратерпены (C₄₀ H₆₄)) со спиртовыми, кетоновыми и кислотными функциями.

Образование циклоалканов из них происходило в результате потери кислородных функциональных групп и реакций диспропорционирования водорода с практически полным сохранением молекулярной структуры исходных терпеноидов живого вещества. , Различные циклоалканы, образованные в результате этих процессов, например стераны и гопаны, уже упоминались при изучении «биомаркеров», которые указывают на органическое происхождение масла.

Из циклического холестеринового спирта, например, образуется холестерановый углеводород:



Другие цикланы - стеролы и тритерпены (С 27 - С 35) - образуются из стероидов, присутствующих в живом веществе в свободной форме или в форме сложных эфиров жирных кислот.

Другой более крупный источник образования циклоалкана связан с дегидратационной циклизацией ненасыщенных жирных кислот с образованием насыщенных циклических углеводородов.

Из других циклоалкенов, образованных в ходе последующих превращений, получают нафтеновые и нафтеново-ароматические углеводороды.

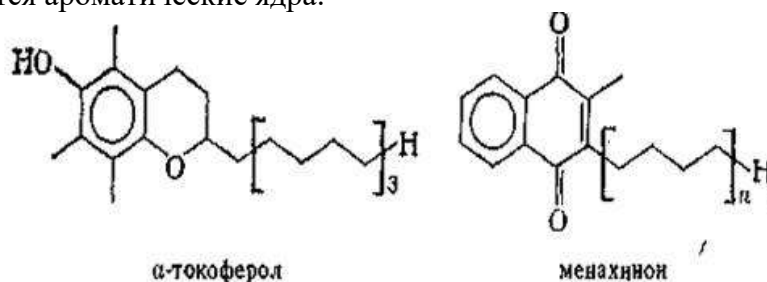
Возможность такого механизма образования циклоалканов была экспериментально исследована А. И. Богомоловым при нагревании олеиновой кислоты до 200 ° С с алюмосиликатным катализатором. В этом случае были получены углеводороды С 5 -С 40 различных классов - алифатических, алициклических и ароматических. Среди образовавшихся циклоалканов преобладали изомеры с пяти- и шестичленными кольцами, и одним типом мостика, как в природных маслах. Би и трициклические циклоалканы также были обнаружены.

Что касается аренов, они также способствуют образованию асфальтово-смолистых веществ.

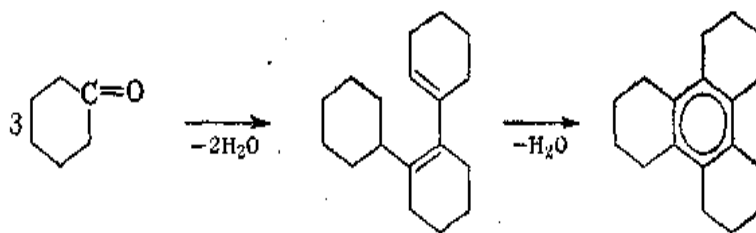
Для живой материи организмов ароматические структуры не характерны, а содержание ароматических углеводородов в маслах составляет от 10 до 35%.

В живом веществе ароматические структуры обнаруживаются в лигнине, некоторых аминокислотах и гидрохинонах (витамины Е, К) [5] в виде отдельных ароматических циклов. Их доля в исходном материале организаций по нефти очень мала; поэтому образование арена в сапропелевом органическом веществе в отложениях и в маслах должно быть связано, прежде всего, с вторичными процессами превращения органического вещества, которые происходят в отложениях на стадиях диагенеза и, в частности, катагенез при повышенных температурах.

Частично, арены образуются сразу после гибели организмов в свежем иле из-за превращения полиеновых соединений, таких как каротиноиды, из стероидных соединений, бензохинонов, а также гидрохинонов и нафтохинонов, в структуре которых находятся ароматические ядра:



При превращении ненасыщенных жирных кислот в присутствии глины в качестве катализатора сначала образуются пяти- и шестичленные кетоны, и неконденсированные нафтены. Дополнительная конверсия предельных циклических кетонов происходит в соответствии с реакцией дегидратационной конденсации, например, для циклогексанона, следующим образом:



Короче говоря, изученные материалы указывают на то, что образование всех основных классов природных нефтяных углеводородов способствует образованию асфальтеновых смолистых веществ и отчасти обусловлено:

1. процесс биосинтеза углеводородов в живом веществе;
2. биохимический процесс превращения органического вещества на стадии диагенеза;

но прежде всего

3. термическое или термокаталитическое превращение липидных веществ из биогенного сапропелевого органического вещества осадочных пород в зоне катагенеза при проявлении основной фазы нефтеобразования.

Вывод

Химические или геохимические знания об образовании асфальтеновых смолистых веществ имеют большое теоретическое и практическое значение.

Решение этой проблемы облегчает:

1. Разведка и разведка месторождений нефти и газа,
2. Оценка их запасов
3. И хорошая организация производства и переработки.

1. Bazhenova. K., Arefyev. A., Peresykin V. I., Lein A. Yu. New evidence for the biogenic nature of hydrocarbons in hydrothermal hydride sulfide ores (mid-ocean chain), 2001.
2. Bazhenova O.K., Burlin Yu.K., Sokolov B.A., V.E. Khain. Geology and geochemistry of oil and gas. Moscow, 2011
3. Valyaev B.M. The problem of the genesis of the oil and gas fields: theoretical aspects and practical significance. In: Genesis of Hydrocarbon Fluid and Fields, Moscow: GEOS, 2006
4. Vassoevich N.B. Geochemistry of organic matter and origin of petroleum. M.: Nauka, 1986
5. Sokolov B.A., Ablya. E.A. The dynamic model of hydrocarbon generation fluids. EAGE 58th Conference, Amsterdam 1996

РАЗДЕЛ XVII. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Бородин Н.Н., Мелик-Шахназарова И.А., Портнягин Н.Н.

Особенности перехода к дистанционным формам обучения для специальностей электроэнергетического направления

*ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-30

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-30

Аннотация

Рассмотрены вопросы применения дистанционного образования для дневных студентов электроэнергетических направлений в вузах Российской Федерации, наибольшую трудность вызывают многочисленные лабораторные работы, которые предусмотрены в 70% дисциплин учебного плана бакалавров и магистров. Проанализированы и предложены различные пути реализации дистанционных форм проведения лабораторных работ, позволяющих осуществить переход к дистанционным занятиям в короткие сроки.

Ключевые слова: дистанционные формы, лабораторные работы, компетенции, учебный план, электроэнергетическое направление подготовки, интернет-технологии.

Вопросы дистанционного обучения в высшей школе России рассматривались на протяжении последних лет [1-3]. Однако в настоящий момент они приобрели особую актуальность в связи с переходом работы вузов России на режим ограниченного посещения занятий, как студентами, так и преподавателями из-за возникших угроз инфекционного заражения вовремя проведения мероприятий с большим количеством учащихся, лекций семинаров конференций и других мероприятий предусмотренных планами работы вузов.

Техническое оснащение современных ВУЗов России позволяет реализовать различные формы дистанционного проведения занятий. Однако для оптимизации этого вида обучения в учебных планах и рабочих программах дисциплин необходимо увеличить долю таких составляющих контроля компетенций как реферат, тестирование, контрольная работа, этап работы, дистанционный контрольный опрос.

Наибольшую трудность в реализации дистанционных форм занятий представляет лабораторные работы, которые являются неотъемлемой частью учебного процесса электроэнергетических специальностей. в принципе возможность технической реализация дистанционных лабораторных работ дисциплинам учебного плана существует [4], однако стоимость лабораторных установок выше в разы по отношению к лабораторным установкам традиционного исполнения. Поэтому финансовые возможности не позволят перевести все дисциплины учебного плана электроэнергетических специальностей по лабораторным работам на дистанционные формы проведения.

Решать проблему перевода лабораторных работ на дистанционные формы проведения можно несколькими способами.

Во-первых, разработать и внедрить виртуальные лабораторные комплексы по всем дисциплина учебного плана с индивидуальными заданиями. Разработка комплексов может занять значительное время.

Во-вторых, при закупке нового лабораторного оборудования ориентироваться на дистанционные лабораторное оборудование, которое уже предлагается разработчиками по нескольким предметам.

В-третьих, организовать выполнение лабораторных работ преподавателями и учебно-вспомогательным персоналом с онлайн-трансляцией по выполнению лабораторных работ. При проведении трансляции необходимо демонстрировать показания приборов с целью возможности обучающихся студентов самостоятельного анализа получаемых из эксперимента данных.

Действующие образовательные стандарты электротехнических специальностей бакалавриата, а особенно, магистратуры нацелены на увеличение времени, отводимого на практические занятия по сравнению с временем, отводимым на лекции. В частности, в учебных планах как магистратуры, так и бакалавриата доля практических и лабораторных занятий составляет 70% от общего числа аудиторной нагрузки.

Эта цифра учитывает как семинары, которые легко переводятся на дистанционное обучение, так и лабораторные работы. Конечно, при организации лабораторных работ надо стремиться к использованию в учебном процессе современного оборудования, с которым выпускники встретятся на производстве и вузы прилагают большие усилия для реализации этого.

Перевод таких лабораторных работ на дистанционное обучение возможен с помощью известных продуктов интернет-технологий типа Skype, Zoom и прочими. В этом случае лабораторная работа уже напоминает лекцию, где преподаватель выполняет различные опыты, объясняя по ходу выполнения значение эксперимента и полученный результат.

Одновременно, в настоящее время существует большое количество программ электронного моделирования электрических цепей, в том числе и профессиональных, используемых в промышленности при анализе или модернизации предприятия. Демоверсии таких программ часто находятся в открытом доступе, что позволяет студенту из дома создавать и исследовать аналог лабораторной работы, выполняемой на физически существующем лабораторном стенде.

Такой подход к выполнению лабораторной работы требует вмешательства преподавателя на этапе оценки, обсуждения полученных результатов и повышает самостоятельность студента в принятии решения о плане эксперимента, выборе элементной базы. В определенном смысле, он является ориентированным на компетентностную составляющую образования.

Таким образом, предлагаемые пути решения проблемы позволят в короткие сроки перейти на дистанционное обучение бакалавров и магистров электроэнергетических направлений подготовки по всем дисциплинам учебного плана.

1. Портнягин Н.Н., Петухова С.Ю., Сеницына Н.В. Применение компьютерного тестирования при изучении раздела "электрические машины и электропривод" для неэлектрических специальностей нефтегазового профиля подготовки// В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 14 томах. 2015. С. 109-111.
2. Портнягин Н.Н., Бородин Н.Н., Сеницына Н.В. Электротехника и электроника. электропривод. задачи и тесты. Москва, 2015.
3. Портнягин Н.Н., Портнягин В.Н. Повышение вариативности базы вопросов тестового контроля//Вестник научных конференций. 2016. № 10-1 (14). С. 90-91.
4. <http://labstand.ru/> "Учтех-Профи" Учебная техника и наглядные пособия от производителя(г. Челябинск)



Научное издание

Наука России: Цели и задачи

Сборник научных трудов по материалам
XX международной научно-практической конференции
10 апреля 2020 г.

Часть 2



SPLN 001-000001-0608-SR

Подписано в печать 18.04.2020. Тираж 400 экз.
Формат.60x84 1/16. Объем уч.-изд. л.4,37
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович