МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА
«НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ»

НАУКА и ПРОСВЕЩЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

# СОВРЕМЕННАЯ НАУКА, ОБЩЕСТВО И ТЕХНОЛОГИИ:

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ

МОНОГРАФИЯ

ПЕНЗА
МЦНС «НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2023

УДК 001.1
ББК 60
С56

**Р е ц е н з е н т ы:**

**Искандарова Гульнара Рифовна** – доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры иностранных и русского языков ФГКОУ ВО «Уфимский юридический институт МВД России»

**Колесников Геннадий Николаевич –** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

**Некрасов Станислав Николаевич** – д. филос. н., профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»

**Авторский коллектив**

Алексеев А.В., Астраханцев Д.А., Гаврилов В.А., Гадуниев Р.Г., Грушина М.В., Гурьева К.Б., Гусева А.Д., Линева Е.А., Муртузов М.М., Овчинников А.Н., Овчинникова М.В., Пироженко Ю.А., Раздайбедин А.А., Сахарова А.В., Слизская Е.Н., Солдатова С.Ю., Ташпулатов Й.Ш., Филимонов В.Е., Чечеткин А.В., Шерназаров Ш.Ш.

**С56**

**СОВРЕМЕННАЯ НАУКА, ОБЩЕСТВО И ТЕХНОЛОГИИ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ: монография** / Под общ. ред. Г. Ю. Гуляева — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». — 2023. — 208 с.

ISBN 978-5-00236-124-3

В монографии представлены теоретические подходы и концепции, аналитические обзоры, практические решения в конкретных сферах науки, общества и технологий.

Издание может быть интересно российским и зарубежным ученым, руководителям и служащим государственного аппарата, руководителям и специалистам учреждений и хозяйственных организаций, педагогам, аспирантам и студентам высших учебных заведений.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законодательства об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

УДК 001.1
ББК 60

© МЦНС «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г. Ю.), 2023
© Коллектив авторов, 2023

ISBN 978-5-00236-124-3

# ОГЛАВЛЕНИЕ

**РАЗДЕЛ I. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР И РЕЗУЛЬТАТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**.....5

ГЛАВА 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ КОЛЬЦЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ_ИЗ ЛИСТОВЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ.....6

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ МАШИН ИЗ-ЗА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ.....39

ГЛАВА 3. СЕНСОРНАЯ ОЦЕНКА МЯСНЫХ КОНСЕРВОВ ПРИ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БАЛЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ПРОФИЛЬНО-ДЕСКРИПТОРНОГО АНАЛИЗА.....51

ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ: МНОГО ПРОТОКОЛОВ, МНОГО ДАТЧИКОВ, МНОГО IIOT.....68

ГЛАВА 5. АЛЬГОФЛОРА РЫБОДНЫХ ПРУДОВ САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ПИТАНИЕ ПЛАНКТОНОЯДНЫХ РЫБ.....78

**РАЗДЕЛ II. СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ**.....91

ГЛАВА 6. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭРИТРОЦИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ КРОВИ У ДОНОРОВ.....92

ГЛАВА 7. МОРФОГЕНЕЗ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ В БОЛЬШЕБЕРЦОВЫЕ КОСТИ БИОГЕННОГО ГИДРОКСИЛАПАТИТА, НАСЫЩЕННОГО МАРГАНЦЕМ.....102

**РАЗДЕЛ III. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ: НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**.....121

ГЛАВА 8. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ И МНОГОМЕРНЫЕ ПРОСТРАНСТВА.....122

ГЛАВА 9. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ.....140

**РАЗДЕЛ IV. ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ** ..... 182

ГЛАВА 10. ГЕНДЕРНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА В ЗАРУБЕЖНОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЛИНГВИСТИКЕ ..... 183

ГЛАВА 11. ЗНАЧЕНИЕ И КОНЦЕПТ КАК ТЕРМИНЫ КОГНИТИВНОЙ ЛИНГВИСТИКИ, ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИИ И ПСИХОЛИНГВИСТИКИ ..... 193

# РАЗДЕЛ I. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР И РЕЗУЛЬТАТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

УДК 621.735; 629.7

# ГЛАВА 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ КОЛЬЦЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

**Раздайбедин Анатолий Александрович**
к.т.н., доцент, доцент
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева» (КНИТУ – КАИ)

**Аннотация:** в данной работе приводится методика компьютерного проектирования эффективных процессов пластического формообразования тонкостенных кольцевых деталей и средств для их реализации. Последовательно рассматривается решение следующих задач:
– исследование физической сущности технологических операций формообразования крупногабаритных тонкостенных кольцевых деталей сложного профиля сечения из титановых сплавов;
– математическое моделирование, совмещенных на одном оборудовании, процессов обработки рассматриваемой номенклатуры деталей;
– разработка алгоритмов и программного обеспечения в CAE системах для расчета оптимальных параметров проектируемых процессов;
– графическое моделирование в CAD системах формующей оснастки и специализированного оборудования для реализации разработанных процессов;
– создание информационной базы и организация диалога компьютерного проектирования рассматриваемых объектов в PDM системах.
**Ключевые слова:** листовые сплавы, кольцевые профильные детали, пластическое деформирование, электро-контактный нагрев, математическое и графическое моделирование, технология, оборудование.

**DESIGNING OF TECHNOLOGY AND MEANS OF PROCESSING OF RING PROFILE DETAILS FROM SHEET HIGH-STRENGTH ALLOYS**

**Razdajbedin Anatoly Aleksandrovich**

**Abstract:** In the given work the technique of computer designing of effective processes plastic deformation thin-walled ring details and means for their realization is resulted. The decision of the following tasks is consistently considered:
– Research of physical essence of technological operations formation large-sized thin-walled ring details of a difficult structure of section from titanic alloys;
– The mathematical modelling, combined on one equipment, processes of processing of the considered nomenclature of details;
– Development of algorithms and the software in CAE systems for calculation of optimum parameters of projected processes;
– Graphic modelling in CAD systems of forming equipment and the specialized equipment for realization of the developed processes;
– Creation of information base and the organization of dialogue of computer designing of technological objects in PDM systems.
**Key words:** sheet alloys, ring profile details, plastic deformation, electro-contact heating, mathematical and graphic modelling, technology, the equipment.

# 1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

## 1.1. Номенклатура тонкостенных кольцевых профильных деталей в авиастроении и основные способы их изготовления

Особую классификационную группу представляют крупногабаритные кольцевые детали из листовых высокопрочных сплавов. Например, конструкция корпуса современного авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) содержит десятки типоразмеров кольцевых деталей из листовых титановых сплавов и жаропрочных сталей (рис. 1.1). Это различные кожухи, шпангоуты, кольца жесткости, бандажи, переходники, уплотнители со сложной геометрией профиля поперечного сечения (рис. 1.2 и 1.3). Рассматриваемые детали имеют широкий диапазон изменения геометрических параметров: диаметральные размеры 500 – 3000 мм; толщина листа 0.8 – 3,5 мм; глубина профиля до 60 мм.

Заготовку получают из листовых полос свернутых в полупериметры и сваренных встык в кольцевой контур (обечайку) с технологическими припусками по торцам и по толщине листа если его утонение, при формообразовании, более 20%. Для рассматриваемых кольцевых деталей применяют высокие требования по точности геометрии профиля поперечного сечения и диаметральных размеров.

Недостаточная пластичность материала заготовок из листовых титановых сплавов (ОТ-4 и ВТ-20) требует нагрева заготовок в процессе формообразования деталей до температуры полного отжига ($800^{o} \pm 30^{o}$ С).

Существующие на производстве способы изготовления рассматриваемых типоразмеров деталей осуществляется последовательно на разном технологическом оборудовании за несколько установок заготовок и полуфабрикатов с большой трудоёмкостью технологических операций и дополнительными затратами на удаление технологических припусков.

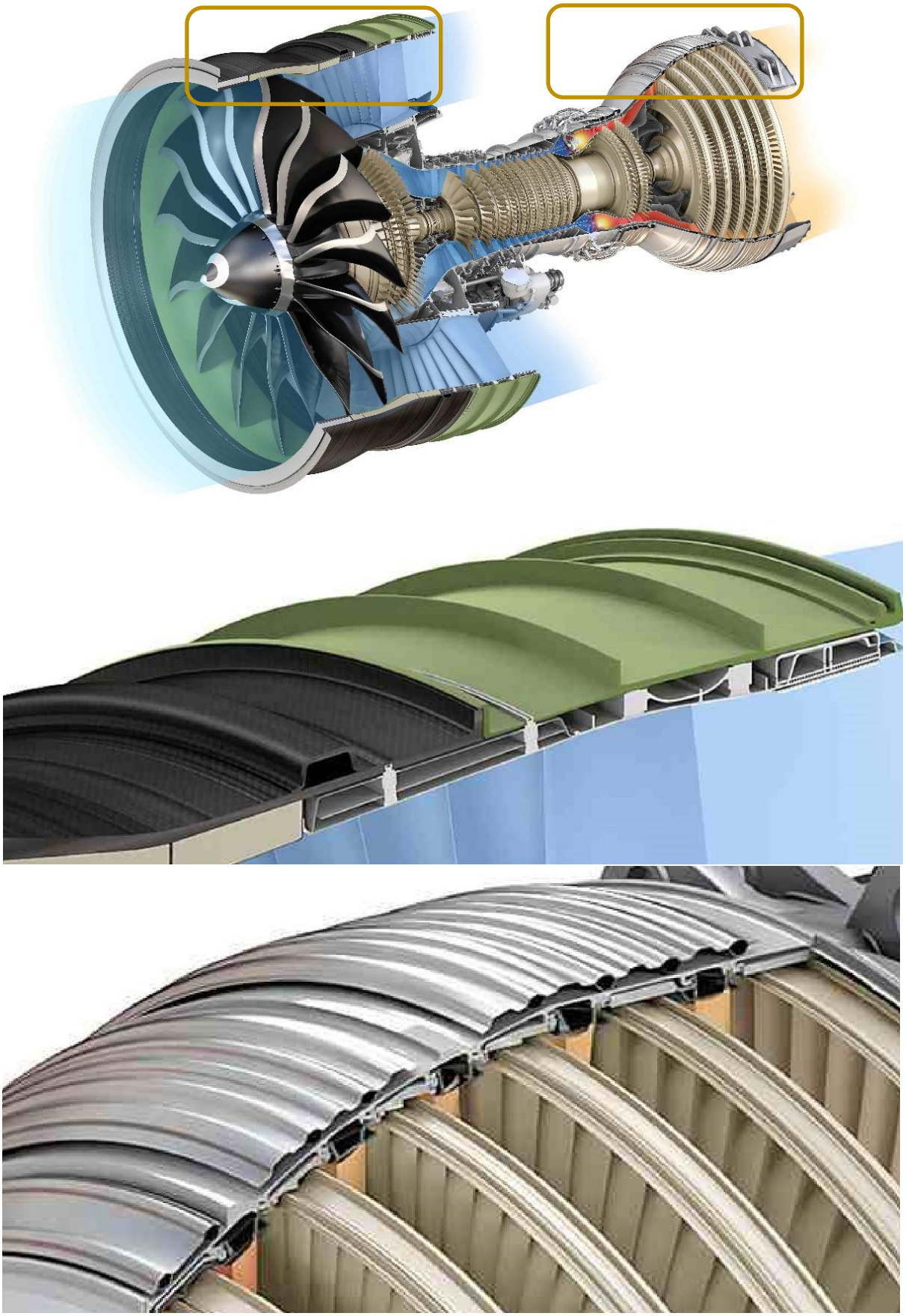


**Рис. 1.1. Вид кольцевых корпусных деталей современных газотурбинных двигателей**

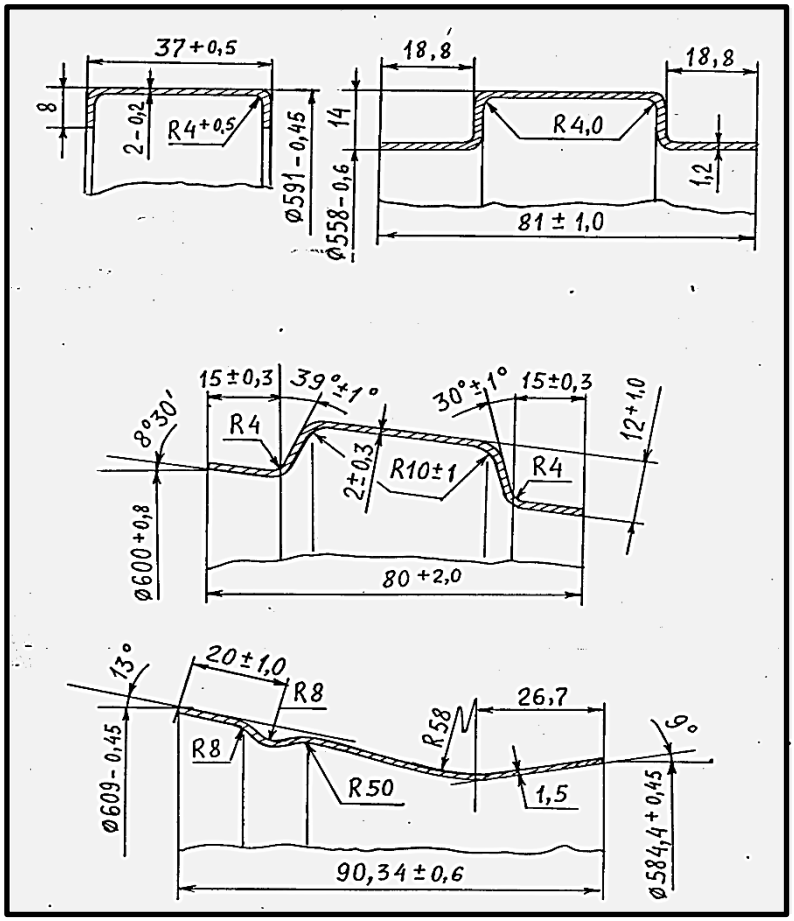



**Рис. 1.2. Эскизы поперечных сечений кольцевых деталей ГТД**

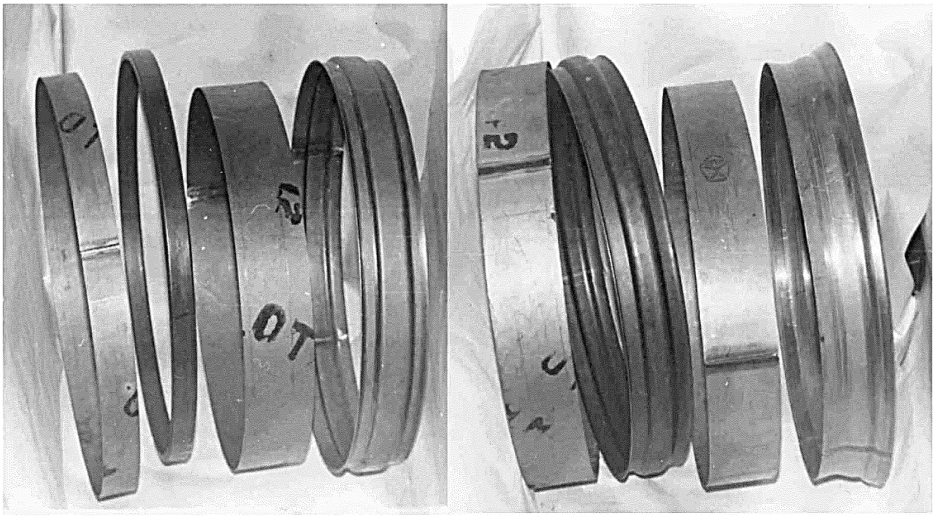


**Рис. 1.3. Типовые тонкостенные кольцевые детали ГТД**

Тонкостенные кольцевые детали получают давильной обработкой на профилировочных и гибочных станках (рис. 1.4), давильной обработкой обечаек роликами на токарно-лобовых станках по вращающейся оправке (рис. 1.5), на прессах с радиально разжимными пуансонами (рис. 1.6), ротационным профилированием замкнутых в кольцевой контур заготовок с прямолинейной образующей в радиально сближающихся фасонных роликах (рис. 1.7), термофор-

мовкой в электропечи. Каждому из существующих способов присущи недостатки, заключающиеся в большой трудоемкости изготовления, сложной металлоемкой оснастке, дополнительной механической обработке для удаления технологических припусков на заготовки, необходимости дополнительных операций правки и калибровки по диаметру.

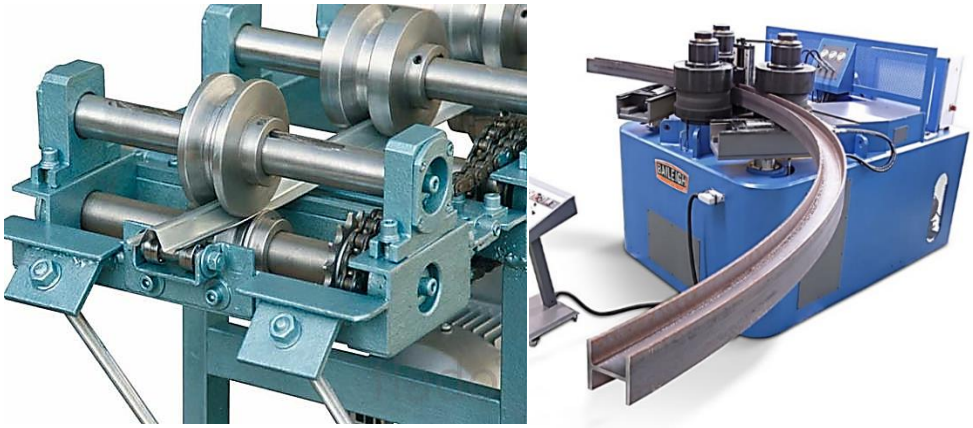


**Рис. 1.4. Получение линейных профилей с последующей гибкой и сваркой встык в кольцевой контур**

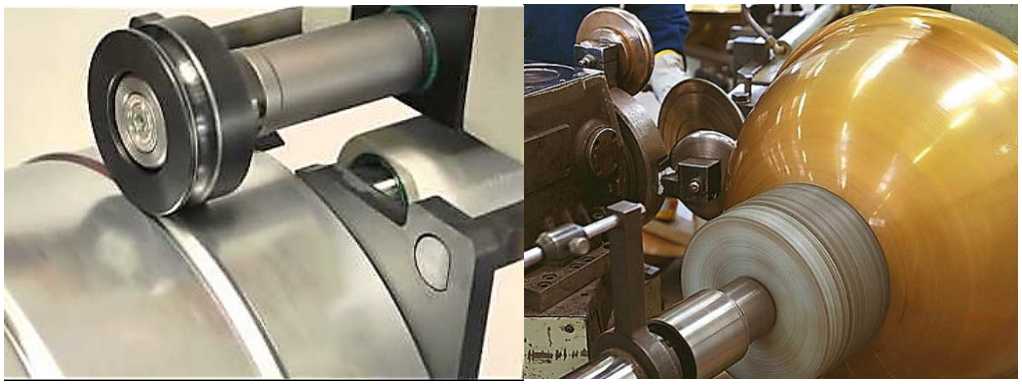


**Рис. 1.5. Токарно-давильная обработка роликами тонкостенных кольцевых заготовок на вращающейся оправке**

**Рис. 1.6. Калибровка по диаметру тонкостенных кольцевых деталей на прессах с разжимными пуансонами**

**Рис. 1.7. Формирование поперечного сечения тонкостенных кольцевых заготовок в профилировочных станках**

Способы изготовления кольцевых профильных деталей из листовых конструкционных материалов определяются последовательностью выполнения формообразующих операций на нескольких вида оборудования, зависят от механических характеристик листовых сплавов, формы профиля детали, ее размеров и технических требований обработки.

Изготовление кольцевых деталей сложного глубокого профиля из листовых титановых сплавов необходимо сопровождать нагревом для повышения пластичности материала исключающего появления трещин при операциях обработки давлением.

На практике, в основном, используются следующие способы нагрева заготовок из малопластичных титановых сплавов: газопламенный, индукционный, электро-контактный.

Нагрев газовыми горелками заготовок, в процессе их пластического формообразования, не обеспечивает их равномерный общий нагрев и приводит к появлению окалины на поверхности заготовок.

Индукционный нагрев токами высокой частоты применяется, в основном, для местного нагрева заготовок и получил широкое распространение при обработке металлов давлением. Зона нагрева определяется формой и размерами индуктора, питающегося от высокочастотного генератора электрического тока. Преимуществом индукционного нагрева является отсутствие непосредственного электрического контакта с нагреваемой заготовкой, этот способ отличается также большой производительностью и высоким КПД нагревательных установок. Рассматриваемый способ нагрева не лишен недостатков, к числу которых относятся необходимость создания индукторов на каждый типоразмер деталей,

большая трудоемкость их изготовления, сложность обеспечения общего и равномерного нагрева заготовок с изменяемой геометрией поперечного сечения заготовки в процессе формообразования.

Электро-контактный нагрев, основанный на выделении тепла в нагреваемой заготовке прямым пропусканием электрического тока, характеризуется общим равномерным нагревом заготовки за короткий промежуток времени. К преимуществам электроконтактного нагрева относятся простота и дешевизна оборудования, экономичность и высокий термический КПД, простота и доступность контроля температуры и управления процессом, высокая культура обслуживания. Кроме того, применение электро-контактных нагревательных установок обеспечивает возможность осуществления непрерывного нагрева при перемещении заготовки относительно токоподводящих контактов и совмещенного нагрева, при котором операции формообразования и нагрева совпадают во времени (ток протекает через очаг деформирования).

Недостатком данного способа нагрева является непосредственный контакт между источником тока и заготовкой. Токоподводящие элементы должны обеспечить надежный электрический контакт с нагреваемой заготовкой, не оставляя следов механического характера (прожогов, прогаров).

С целью повышения качества и снижения трудоёмкости формообразующих операций при изготовлении крупногабаритных кольцевых профильных деталей из высокопрочных листовых сплавов необходимо проектировать эффективную технологию и оснащение, за счёт совмещения операций: профилирования поперечного сечения, правки-калибровки по диаметру и общего электроконтактного нагрева кольцевых заготовок на одном специализированном оборудовании за одну установку заготовки.

Совмещенные процессы профилирования и калибровки, а также общего электро-контактного нагрева кольцевых заготовок из листовых высокопрочных сплавов позволят снизить трудоемкость формообразующих операций, сократить металлоёмкость комплектов формующей оснастки, получать кольцевые детали сложного поперечного сечения без гофрообразования с допустимым утонением стенок путем дозированного распределения материала заготовки в зоны растяжения и сжатия.

### 1.2. Постановка задач по совершенствованию процессов и оборудования для изготовления кольцевых деталей из листовых высокопрочных сплавов

Для реализации новых эффективных процессов и адаптации к промышленному освоению необходимо решать следующие задачи:

1. Провести анализ номенклатуры тонкостенных кольцевых деталей.
2. Совершенствовать подготовительные операции получения качественных замкнутых в кольцевой контур заготовок из листовых титановых сплавов (рис. 1.8 и 1.9).

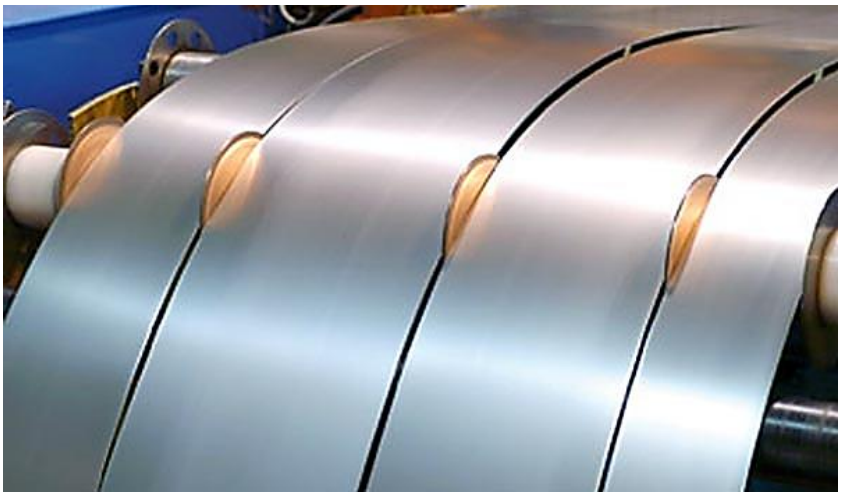


**Рис. 1.8. Точный раскрой полос для последующей гибки и сварки встык**

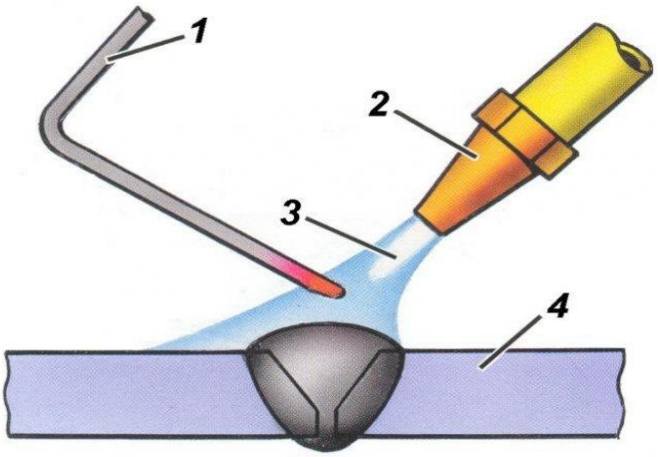



**Рис. 1.9. Схема стыковки полос электродуговой сваркой в среде инертных газов**

3. Разработать технологические схемы совмещенных процессов формообразования и нагрева кольцевых заготовок на одном оборудовании и одном комплекте формующей-токоподводящей оснастки.

4. Разработать математическую модель совмещенных процессов и методику расчета оптимальных технологических параметров.

5. Проектировать и изготовить комплекты формующей оснастки.

6. Рассчитать диапазон рабочих перемещений формующей оснастки и максимальные усилия для формообразующих операций.

7. Проектировать специализированное оборудование в соответствии с техническим заданием под рассматриваемую номенклатуру деталей.

8. Разработать технологические базы данных по исследуемым информационным объектам и организовать диалог компьютерного проектирования процесса и технических средств на базе CAD/CAE и PDM систем.

9. Рассчитать эффективность разработок и дать технологические рекомендации для промышленного освоения разработок.

### 1.3. Анализ физики совмещенных процессов ротационного формообразования и электро-контактного нагрева кольцевых заготовок из листовых титановых сплавов

На основе проведённых теоретических и практических исследований в КНИТУ-КАИ разработана эффективная технология и спроектировано специализированное оборудование позволяющее совместить процессы ротационного профилирования и калибровки (РПК) тонкостенных кольцевых деталей в одном устройстве с возможностью повышения пластичности материала заготовок из листовых титановых сплавов за счёт общего электро-контактного нагрева в процессе формообразующих операций [1 – 7].

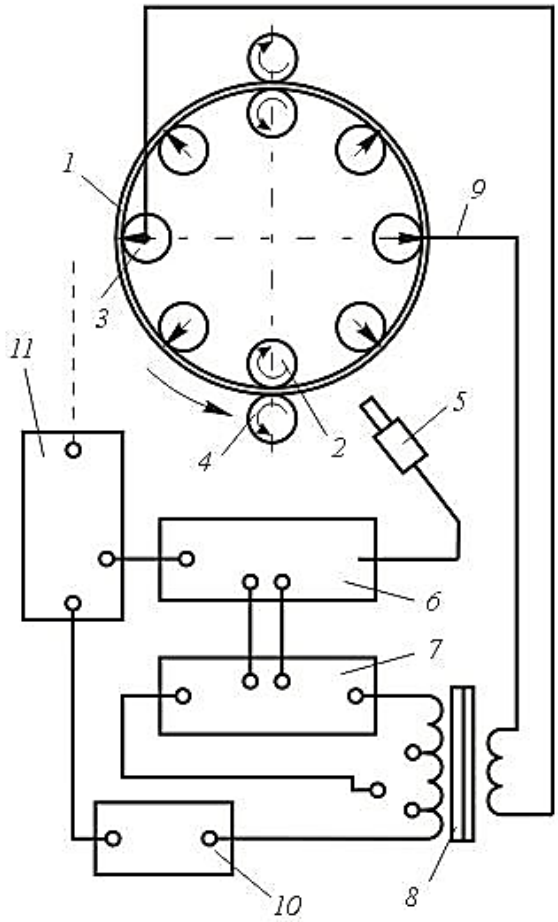



**Рис. 1.10. Схема процесса РПК с электро-контактным нагревом кольцевых заготовок**

Сущность рассматриваемого процесса (рис. 1.10) заключается в постепенном пластическом деформировании цилиндрической обечайки 1 путем непрерывной обкатки относительно калибрующих роликов 2 и 3 равнорасположенных по периметру заготовки с возможностью установочного синхронного радиального перемещения, а также профилирующих, радиально сближающихся роликов 4. Общий нагрев заготовки осуществляется в процессе формообразования путем подвода электротока через контактные-калибрующие ролики 3.

В процессе обкатки нагруженной калибрующими роликами замкнутой в кольцевой контур заготовки непрерывно происходит правка и накопление деформации вдоль периметра за счет циклической смены знакопеременного упругопластического изгиба с растяжением и упругой разгрузки материала заготовки относительно центра тяжести в каждом поперечном сечении. Одновременно формируется профиль поперечного сечения заготовки парами радиально сближающихся роликов.

Преимущества метода РПК заключаются в следующем:

– повышается качество и точности деталей за счет равномерного дозированного распределения деформаций растяжения-сжатия по высоте поперечного сечения и равномерного нагрева заготовки;

– снижается (в 1,5 – 2 раза) трудоемкость формообразующих операций и нагрева заготовок из малопластичных сплавов за счёт совмещения процессов на одном оборудовании и одном комплекте формующей оснастки;

– расширяется диапазон типоразмеров изготавливаемых деталей;

– увеличивается коэффициент использования материала заготовок за счет уменьшения технологических припусков на механическую обработку;

– появляется возможность автоматизированного управления технологическими операциями.

Сложное напряженно-деформированное состояние материала кольцевых заготовок при реализации процесса РПК характеризуется геометрической и физической нелинейностью. В зоне полок, стенок и радиусных переходах между ними вдоль профиля поперечных сечений действуют меридиональные деформации (рис. 1.11), а также происходит утонение листового материала в следствии радиальных деформаций. Вдоль периметра заготовка испытывает тангенциальные $\varepsilon_{op}$ деформации от растяжения и изгиба в каждом поперечном сечении.

При обкатке по калибрующим роликам каждое сечение, нагруженной вдоль периметра кольцевой заготовки, проходит несколько циклов нагружения и разгрузки при перемещении с ролика на ролик. Степень радиального перемещения калибрующих роликов должна обеспечивать появление зон пластических деформаций во внешних слоях относительно линии центров тяжести поперечных сечений заготовки.

При однократном нагружении кольцевой заготовки калибрующими роликами в течении её нескольких оборотов происходит накопление деформации вдоль периметра и стабилизация процесса изгиба с растяжением в упругой области. Дальнейшее приращение периметра не происходит. Перепад активной $\chi$ кривизны в сечения на ролике и между роликами (рис. 1.12) становится минимальным. Во время ротационно-радиальной правки-калибровки происходит профилирование поперечного сечения детали, жесткость заготовки вдоль периметра повышается. При снятии нагрузки заготовка получает приращение периметра и идеальную форму окружности.

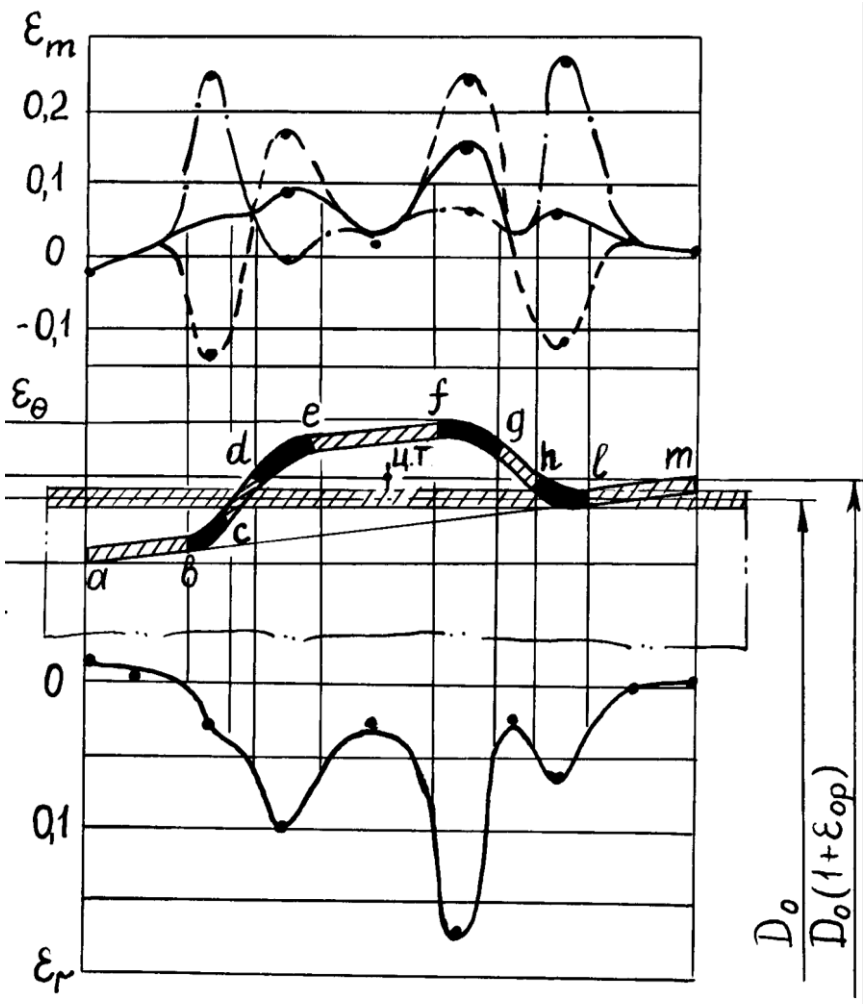



**Рис. 1.11. Графики изменения меридиональной и радиальной деформации вдоль профиля поперечного сечения заготовки**

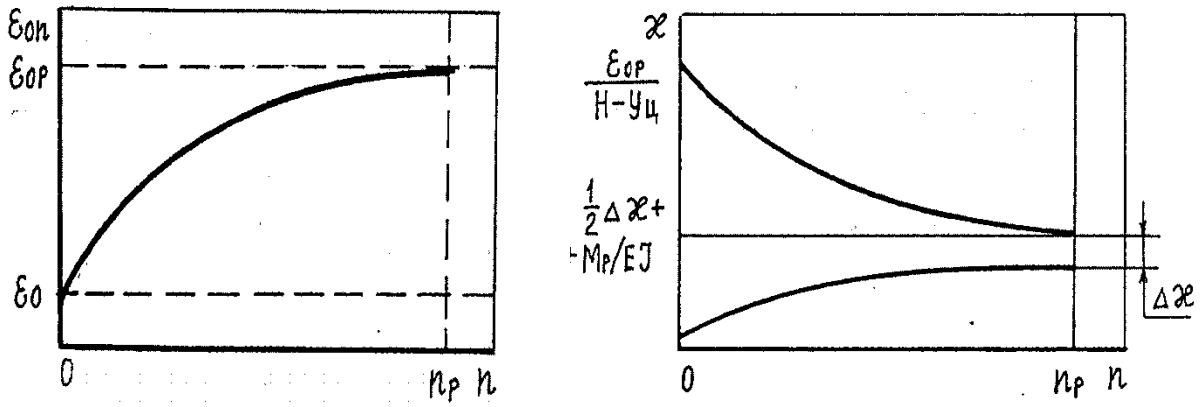



**Рис. 1.12. Графики изменения тангенциальной деформации $\varepsilon_{op}$ вдоль периметра кольцевой заготовки и активной кривизны $\chi$ в сечениях на роликах и между роликов по полуциклам нагружения $n_p$**

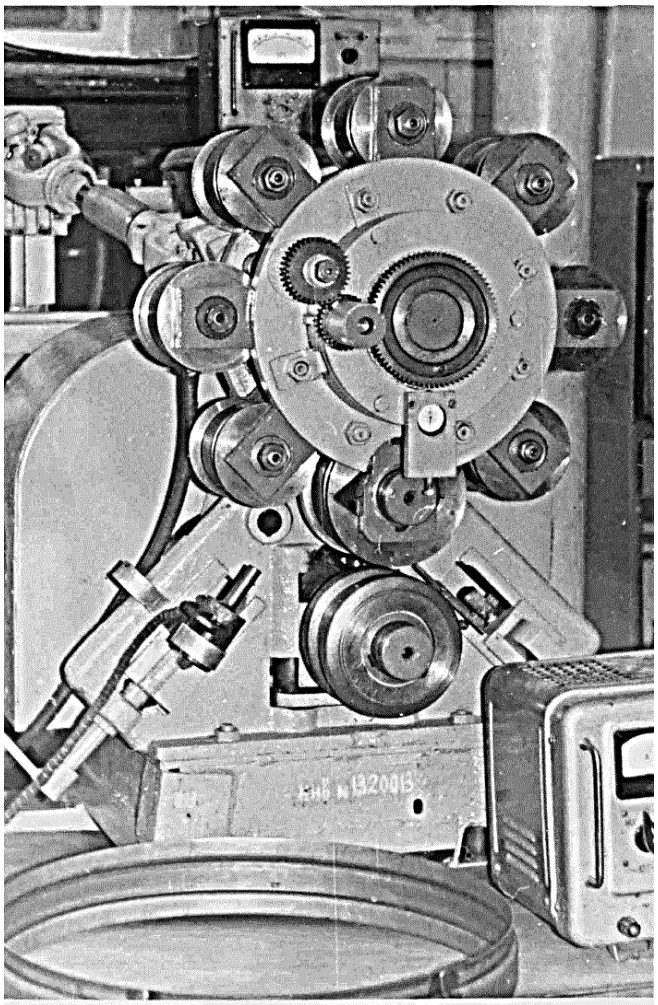


**Рис. 1.13. Лабораторная – экспериментальная установка для реализации процесса РПК**

На рисунке 1.13 представлена экспериментальная лабораторная установка для реализации процесса РПК и проведения исследовательских работ. Формующий узел установлен на профилегибочном станке обеспечивает три вида перемещений формующей оснастки: вращение пары профилирующих роликов; радиальное сближение пары профилирующих роликов; синхронное радиальное перемещение равнорасположенных по окружности калибрующих роликов. Установка снабжена системой общего электро-контактного нагрева кольцевой заготовки из титановых сплавов в процессе формообразования [3; 6].

В систему нагрева входят: силовой трансформатор, токоподводящие водоохлаждаемые кабели, блок управления, бесконтактные датчики контроля температуры нагрева заготовки.

Электро-контактный нагрев кольцевой заготовки в процессе формообразования осуществляется путём подвода электрического тока к торцевым участком заготовки через боковые диски двух диаметрально противоположных калибрующих-токоподводящих роликов. Ток расчётной мощности поступает от силового трансформатора через охлаждаемые водой кабели и шины к осям контактных роликов. Электроток течет вдоль двух полупериметров кольцевой заготов-

ки. Установка и формующая оснастки изолированы от токоподвода шайбами и втулками. В системе нагрева также присутствует бесконтактных пирометр и тиристорный блок автоматической регулировки напряжения для обеспечения требуемой температуры заготовки.

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОТАЦИОННОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

### 2.1.Технологические схемы процесса ротационного профилирования и калибровки кольцевых корпусных деталей газотурбинных двигателей

Схема процесса РПК с компоновкой калибрующих и профилирующих роликов, а также элементами электро-контактного нагрева кольцевых заготовок представлена на рисунке 2.1.

Мощность подводимого к заготовке электрического тока должна автоматически регулироваться с учётом возможного отбора тепла формующей оснасткой. Все рабочие перемещения формующей оснастки должны выполнятся с требуемой точностью.

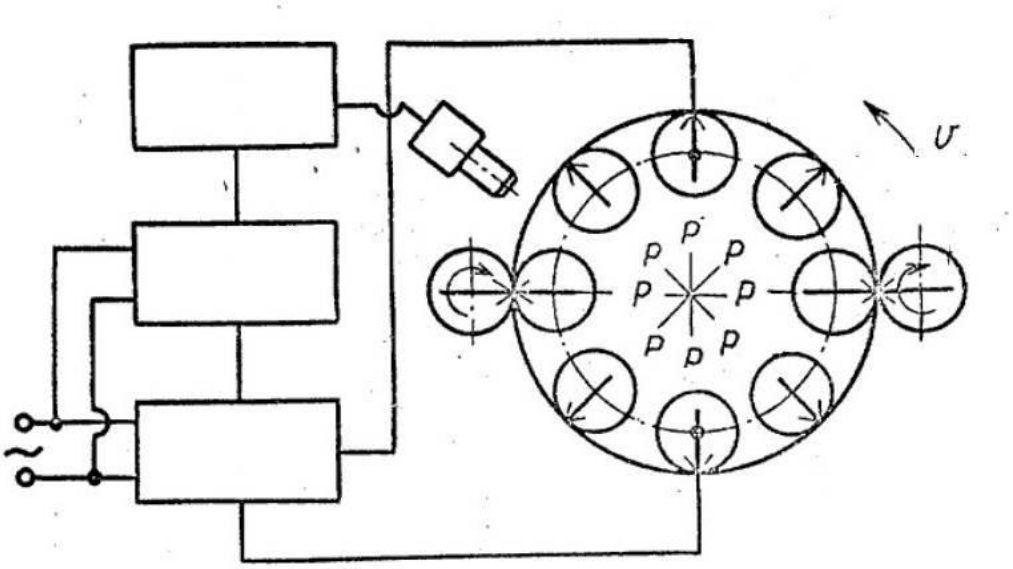



**Рис. 2.1. Схема компоновки формующей оснастки и системы электро-нагрева кольцевых заготовок в процессе РПК**

Основные технологические параметры процесса РПК следующие:

– геометрические размеры заготовок и формующей оснастки;

– количество калибрующих и профилирующих роликов;

– силовые характеристики процесса (усилие калибровки и профилирования, крутящие моменты на приводных валах);

– рабочее синхронное перемещение калибрующих роликов для передачи радиальной нагрузки на кольцевую заготовку;

– скорость радиального сближения профилирующих роликов;
– скорость вращения заготовки;
– температура нагрева заготовок из титановых сплавов;
– время цикла профилирования и правки заготовок.

При разработке технологических схем перемещения формующей оснастки относительно заготовки в заданной системе координат, а также для разработки математической модели и методик расчета [1; 2; 7] параметров процессов, оснастки и оборудования, необходимо принимать следующие гипотезы и допущения:

– на изменение величины периметра заготовки влияют только тангенциальные составляющие нормальных напряжений;
– справедлива гипотеза (Кирхгофа-Лява) плоских и нормальных сечений к оси изгиба;
– принимается степенной закон упрочнения материала;
– действие сил инерции не учитывается вследствие постоянства скорости вращения заготовки и малых постоянных скоростей радиального перемещения роликов;
– скорость вращения заготовки не должна превышать определенной величины, при которой происходит запаздывание развития пластической деформации при переходе фиксированного сечения заготовки с ролика на ролик;
– скорость вращения заготовки при электро-контактном нагреве должна быть оптимальной, чтобы не допустить сваривания и прожогов материала заготовки;
– система общего электро-контактного нагрева заготовок из листовых титановых сплавов должна обеспечить равномерное температурное поле, для уменьшения температурных напряжений, чтобы не учитывать их в расчетах;
– тангенциальная деформация вдоль периметра заготовки по линии центров тяжести поперечных сечений, соответствующая пределу упругости материала, является достаточной для правки заготовки по диаметру;
– необходимо учитывать непрерывное изменение геометрии поперечного сечения заготовки, положения нейтрального слоя вдоль центров тяжести поперечных сечений, а также изменение границ раздела упругой и пластической деформации по высоте сечений заготовки;
– необходимо учитывать изменение предела текучести и модуля упругости материала заготовки при циклическом знакопеременном нагружении в процессе правки (эффект Баушингера);
– распределение материала заготовки в зоны растяжения и сжатия должно быть дозированным для снижения нагрузок и деформаций;
– цикл формообразования должен быть минимальным по времени, при условии достижения заданной точности размеров детали;
– технологические припуски на заготовки должны быть минимальны;

– деталь изготавливается за один установ заготовки на одной формующей оснастке;

– искажения готовой формы поперечного сечения заготовки не происходит, так как в заключение процесса профилирования заготовка прокатывается в сопряженных сомкнутых роликах, а усилия растяжения и изгиба вдоль периметра стабилизируются в упругой зоне.

На рисунке 2.2 представлена схема процесса РПК для изготовления кольцевых деталей со сложным глубоким профилем поперечного сечения.

Много-переходное профилирование заключается в последовательном формировании геометрии поперечного сечения заготовки парами профилирующих роликов для уменьшения утонения листового материала в наиболее нагруженных участках профиля.

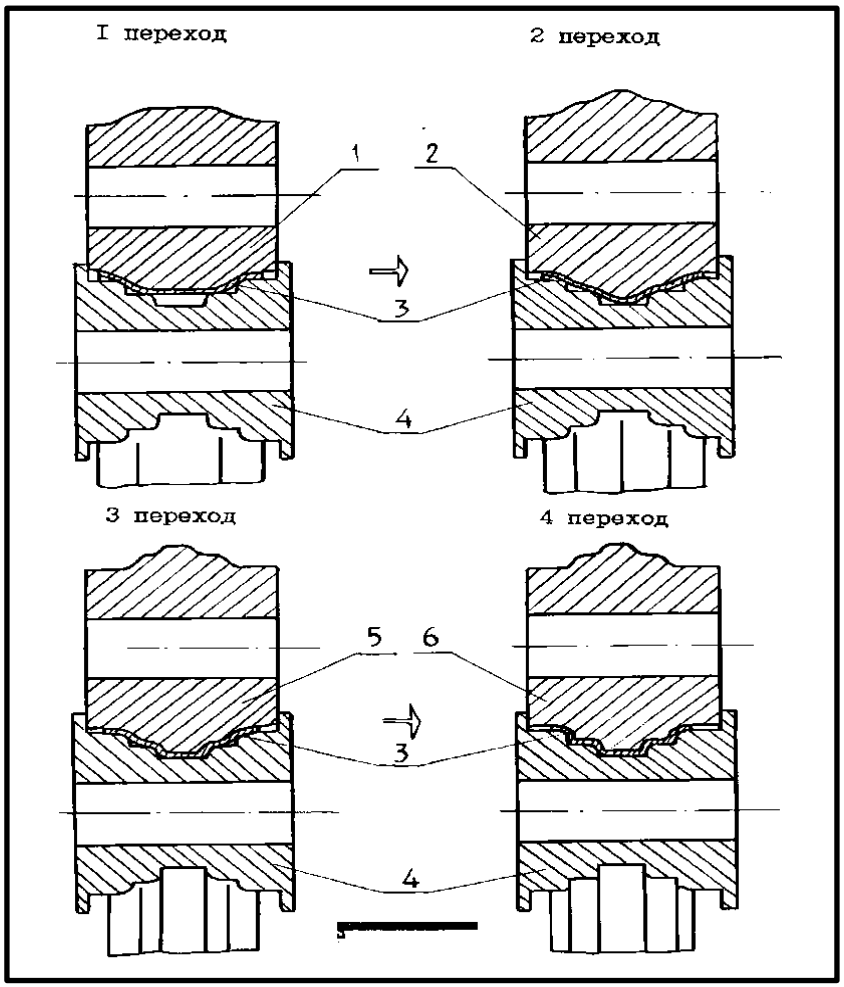



**Рис. 2.2. Схема последовательного много-переходного профилирования поперечного сечения заготовки**

На рисунке 2.3 приведена схема подвода электротока к кольцевым заготовкам большого диаметра и малой толщины листового материала. Это необходимо для увеличения площади электрических контактов при подводе тока большей мощности с целью компенсации тепловой отдачи в пространство.

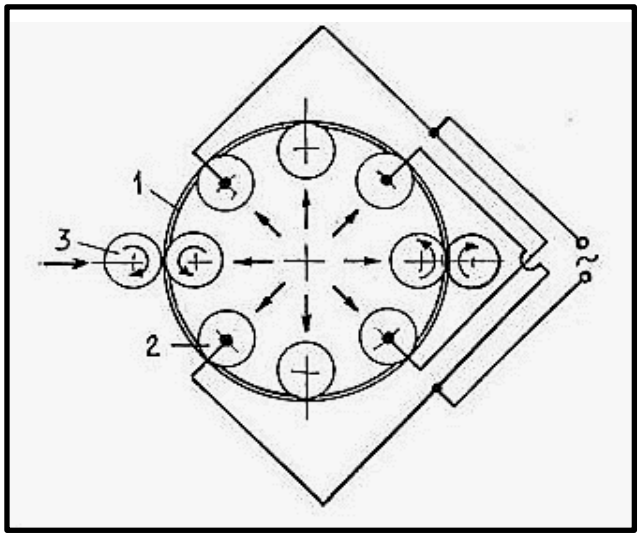



**Рис. 2.3. Схема подвода электротока к заготовкам больших диаметров**

На рисунке 2.4 изображен сборный токоподводящий ролик. В процессе образования профиля поперечного сечения, при обкатке по калибрующим роликам, торцевые поверхности заготовки скользят по токоподводящей поверхности боковых дисков роликов. Электроток течёт вдоль периметра заготовки между полюсами контактных роликов.

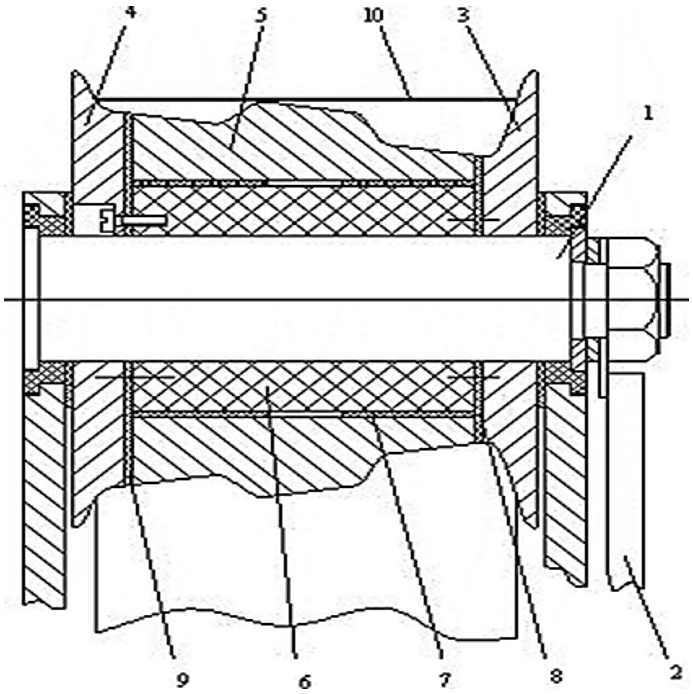



**Рис. 2.4. Эскиз калибрующего-токоподводящего ролика**

Для обеспечения равенства окружных скоростей попарно профилирующих роликов, с сопряженными рабочими поверхностями, проводят расчет их диаметральных размеров с учетом расположения нейтральной линии их калибров, межцентрового расстояния и глубины профиля детали (рис. 2.5).

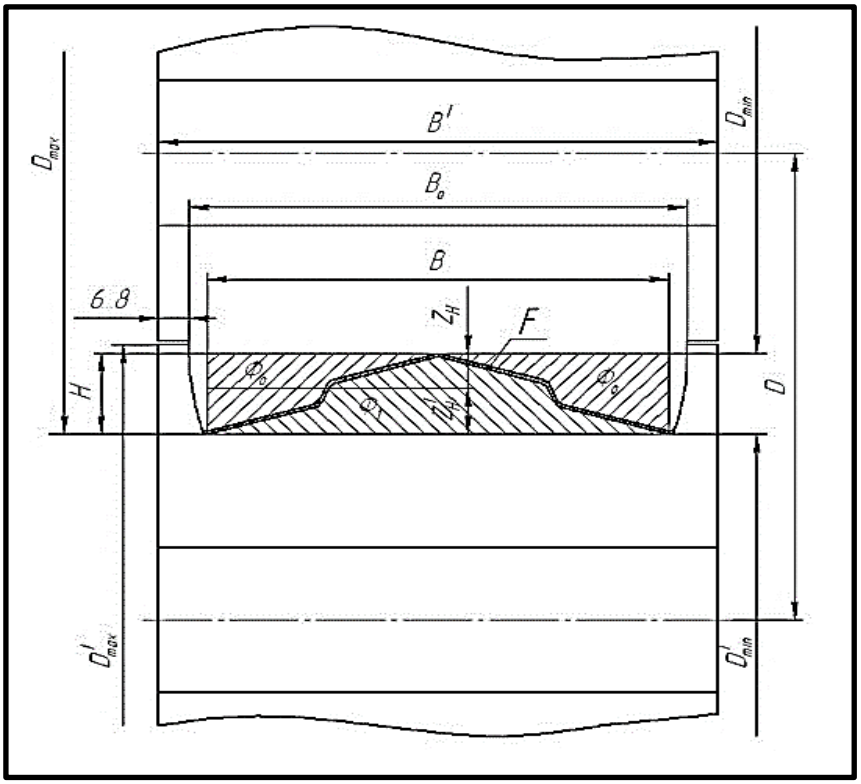



**Рис. 2.5. Схемы расчёта межцентрового расстояния профилирующих роликов**

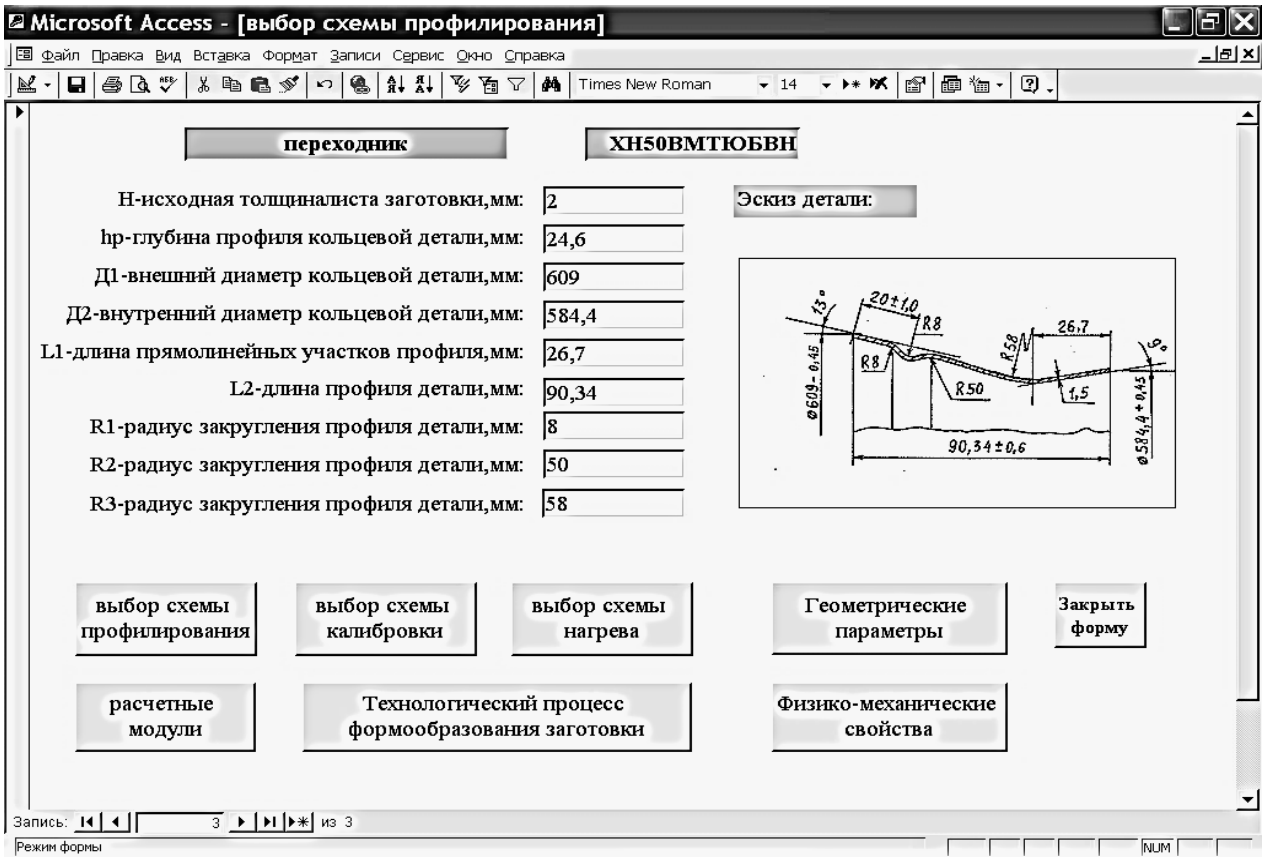



**Рис. 2.6. Пример экранной формы для просмотра информационных объектов процесса РПК**

Разработка новых технологических процессов, оснастки и оборудования при промышленном освоении определенной номенклатуры деталей является трудоемкой задачей. Большое количество исходной информации, многообразие методик расчета технологических параметров и вариантов разработки технических средств, сложная динамика перемещения формующей оснастки или обрабатывающего инструмента – все это требует создания объемной информационной базы данных и возможностей автоматизированного выбора оптимальных проектных решений.

Высокая трудоемкость выбора оптимальных проектных решений, соответствующих техническому заданию и критериям эффективности процесса РПК, требует создания условий автоматизированного проектирования технологии и технических средств в диалоговом.

CAE и CAD системы являются инструментом для разработки виртуальных образов технологических объектов: математических моделей процессов и геометрических образов технологического оснащения.

PDM (СУБД) системы являются инструментом для разработки систем автоматизированного проектирования (САПр) конкретных технологических объектов с набором баз данных и возможностью организации диалога компьютерного проектирования в едином информационном пространстве.

На рисунке 2.6 приведен пример экранной формы для визуального представления информационных объектов на любой стадии их проектирования. Из окна главной формы можно перемещаться в окна подчиненных форм (например для просмотра разных технологических схем процесса РПК).

## 2.2.Математическая модель процесса ротационного профилирования и калибровки тонкостенных кольцевых деталей

Математическое моделирование совмещенных процессов РПК позволяет получить замкнутые системы уравнений и неравенств, функционально связывающие значения технологических (управляющих) параметров с параметрами, характеризующими точность изготавливаемых деталей.

Динамика формообразования кольцевых заготовок (рис. 2.7) в процессе РПК рассматривается в полярной системе координат.

В силу осевой симметрии нагрузок за полуцикл нагружения принимается перемещение фиксированного сечения заготовки (при её обкатке по калибрующим роликам) на центральный угол $0 \le \varphi \le \pi/z$ (рис. 4.21), где $z$ – число сосредоточенных нагрузок $P$ (соответствует числу калибрующих роликов);

$\varphi = 0$ – в сечении приложения нагрузок (на калибрующем ролике), $\varphi = \pi/z$ – в сечениях между калибрующими роликами. Динамика процесса рассматривается дискретно по полуциклам нагружения n. Значению $n = 0$ соответствует положение фиксированного сечения заготовки на калибрующем ролике до начала вращения заготовки. В результате синхронного радиального перемещения калибрующих роликов происходит однократная нагрузка исходной цилиндрической обечайки в каждом поперечном сечении вдоль периметра $L_0$. Затем

включается режим вращения заготовки. Происходит её правка-калибровки по диаметру за счёт циклического знакопеременного упругопластического изгиба с растяжением при обкатке по калибрующим роликам. При определённом количестве оборотов заготовки напряженно-деформированное состояние стабилизируется в упругой области. Максимальные деформации наружных волокон заготовки не будут превышать значения $\varepsilon_p$, соответствующего упругой разгрузке.

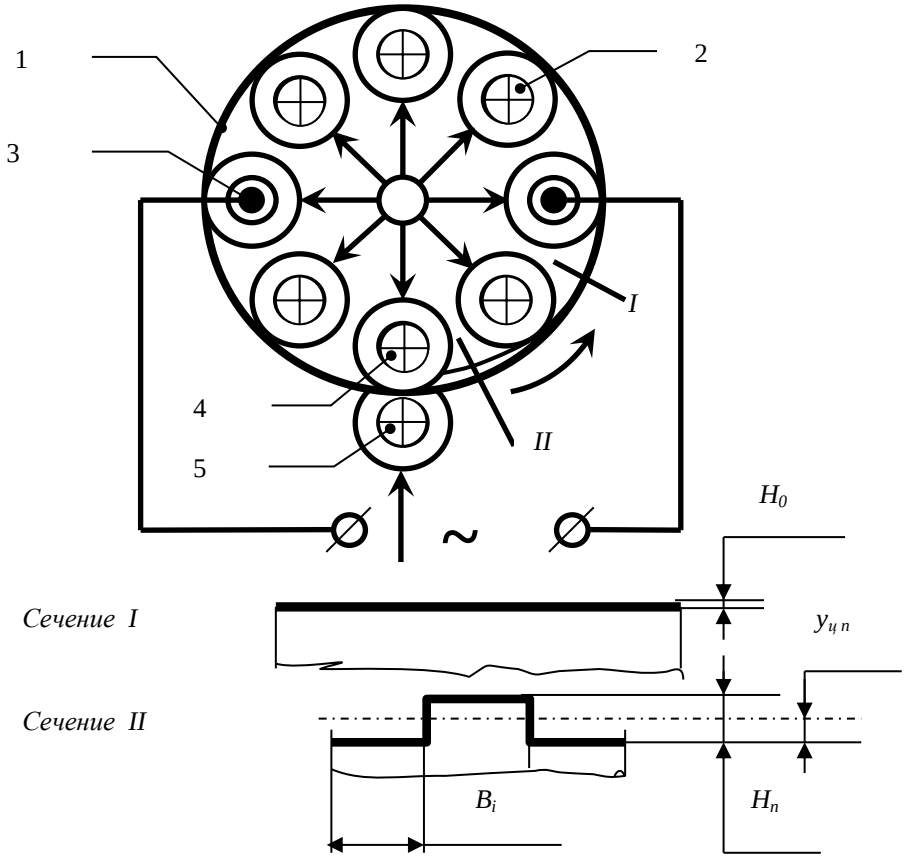



**Рис. 2.7. Схема нагружения кольцевой заготовки и динамика ее ротационного формообразования с общим электроконтактным нагревом**

Основными технологическими параметрами, влияющими на процесс калибровки кольцевой заготовки по диаметру, являются: величина радиального перемещения $R_0$ калибрующих роликов и количество оборотов заготовки (число полуциклов нагружения $n>0$).

Графики по динамике стабилизации процесса калибровки кольцевых заготовок по диаметру приведены в предыдущей лекции (см. рис. 1.12).

Уравнения, для определения геометрии линии изгиба и длины $S$ рассматриваемой дуги кольцевого контура заготовки и в системе полярных координат на участке $0 \le \varphi \le \pi/z$ (рис. 2.8), а также уравнения равновесия любого бесконечно малого элемента заготовки под действием нагрузок $P$, записываются для

любого значения $n$ в следующем виде:

$$\begin{cases} d\rho_n/d\varphi = -\rho_n ctg(\alpha_n - \varphi); \\ dS/d\varphi = \rho_n \sec(\alpha_n - \varphi); \\ d\alpha_n/d\varphi = \rho_n \sec(\alpha_n - \varphi)/r_n. \end{cases}$$

$$\begin{cases} dN_n/d\varphi = -Q_n \rho_n \sec(\alpha_n - \varphi)/r_n; \\ dM_n/d\varphi = Q_n \rho_n \sec(\alpha_n - \varphi); \\ dQ_n/d\varphi = (N_n/r_n - q_n)\rho_n \sec(\alpha_n - \varphi). \end{cases} \quad (1)$$

При выводе уравнений (1) использованы соотношения дифференциальной геометрии [2 и 3]. Обозначения параметров, входящих в систему уравнений (1), приведены на рисунках 2.8 и 2.9. Величина $r_n$ представляет собой радиус кривизны рассматриваемой дуги заготовки, а $q_n$ является результатом разложения в ряд Фурье по углу $\varphi$ сосредоточенной нагрузки $P$. Значения этих величин определяется из следующих соотношений:

$$r_n = \frac{\rho_n^2\left[1+ctg\left(\alpha_n-\varphi\right)\right]^{3/2}}{\left\{\rho_n\left[1+ctg^2\left(\alpha_n-\varphi\right)\right]-\left[R_n-H_n+y_{цn}+H_0/2-L_0\left(1+\varepsilon_{0n}\right)/2\pi\right]\cos^2(z\varphi)\right\}};$$

$$q_n = 4N_n z\left[1/2+\cos(z\varphi)\right]/\left\{L_0\left(1+\varepsilon_{0n}\right)\left[1+2\sin(2z/\pi)\right]\right\} \quad (2)$$

Для каждого значения n $> 2z$ геометрические параметры заготовки вследствие постоянного малого перемещения роликов $t_p \le H_0/z$ усредняются по углу $0 \le \varphi \le \pi/z$ и определяются из соотношений:

$$H_n = H_0 + t_p n/z; \qquad y_{цn} = H_0/2 + t_p n y_{ц0}/(zH);$$

$$y_{0n} = -\varepsilon_{0n}/k_n; \qquad y_{sn} = \left|\frac{(-1)^{n+1}\varepsilon_s + y_{0n}\left(k_n' - k_n\right)}{k_n - k_{n-1}}\right|, \quad (3)$$

где $k_n = 1/r_n - 1/r_0$; $k'_n = M_n/(EJ)$; $H_n$, $y_{цn}$ – высота и положение центра тяжести поперечного сечения заготовки; $y_{0n}$, $y_{sn}$ – положение нейтрального слоя и границ раздала упругих и пластических деформаций по высоте сечения заготовки; $\varepsilon_s$, $k'_n$ – деформация предела текучести материала заготовки в первом полуцикле нагружения и остаточная кривизна после упругой разгрузки заготовки в любом полуцикле нагружения $n$.

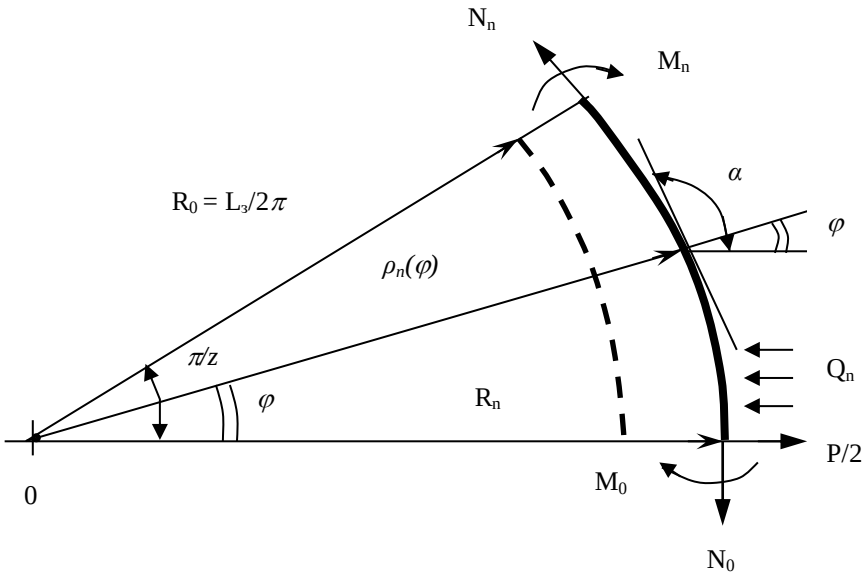



**Рис. 2.8. Схема нагружения и геометрия дуги кольцевого контура вдоль линии центров тяжести сечений в полярной системе координат**

Деформация по высоте $y$ сечения заготовки и по линии центров тяжести сечений при $y = 0$ определяется из соотношений:

$$\varepsilon_n = \frac{\left[\rho_n \, sec\left(\alpha_n - \varphi\right)/r_n - a_1\right]y + a_2}{a_1 y + a_3}; \qquad \varepsilon_{0n} = a_2 / a_3,$$

*где*

$$a_1 = \rho_{n-1} \, sec\left(\alpha_{n-1} - \varphi\right)/r_{n-1}; \quad (4)$$
$$a_2 = \rho_n \, sec\left(\alpha_n - \varphi\right) - \rho_{n-1} \, sec\left(\alpha_{n-1} - \varphi\right);$$
$$a_3 = \rho_{n-1} \, sec\left(\alpha_{n-1} - \varphi\right).$$

Модель циклического нагружения кольцевой заготовки принимается в виде обобщенного принципа Мазинга. Напряжения в упругой, пластической и упруго-пластической зонах определяются из соотношений:

$$\sigma_У = \sigma_{n-1} + (-1)_{n+1} E\varepsilon_n,$$
$$при \quad -y_{sn} \le y \le y_{sn};$$

$$\sigma_П = \sigma_{n-1} + (-1)^{n+1}\left[E\varepsilon_{sn} + K\left(\varepsilon_n - \varepsilon_{sn}\right)^m\right], \quad (5)$$
$$при \quad H_n - y_{цп} + (-1)^n y_{0n} > y > y_{sn}, \qquad -y_{sn} > y > -y_{цп} + (-1)^n y_{0n};$$
$$\sigma_{У/П} = \sigma_{n-1} + (-1)^{n+1} E\varepsilon_n + y_{0n}\left(k_n^{'} - k_n\right),$$
$$при \quad \left|y_{s(n-1)}\right| \le y \le \left|y_{sn}\right|,$$

где $\varepsilon_{sn} = (-1)^{n+1}\varepsilon_s + y_{0n}(k'_n - k_n)$; $E, K, m$ – константы материала заготовки. Уравнения (5) учитывают изменение предела текучести $\varepsilon_{sn}$ по полуциклам

нагружения $n$ циклически нестабильных материалов. На рисунке 2.9 представлена эпюра напряжений по высоте сечения заготовки при стабилизации процесса ротационной раздачи.

Начальные условия для решения системы уравнений (1) записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned}
&\rho_n\big|_{\varphi=0} = R_0 + t_p n/2z - H_n + H_0/2;\\
&\alpha_n\big|_{\varphi=0} = \pi/2;\\
&S_n\big|_{\varphi=0} = L_0/2\pi;\\
&Q_n\big|_{\varphi=0} = N_n\big|_{\varphi=0}/\left[1+2\cos(2\pi/z)\right];\\
&r_n\big|_{\varphi=0} = \rho_n^2\big|_{\varphi=0}/\left[\rho_n\big|_{\varphi=0} + z^2\left(R_n - L_0/2\pi\right)\right];\\
&N_n\Big|_{\varphi=0} = B(y)\int_{-y_{цп}}^{H_n - y_{цп}} \sigma_n dy;\\
&M_n\big|_{\varphi=0} = B(y)\int_{-y_{цп}}^{H_n - y_{цп}} \sigma_n y dy,
\end{aligned} \qquad (6)$$

где $B = f(y, B_i, H_0, \ldots)$ – функция, описывающая изменение ширины заготовки вдоль координаты $y$, характеризующей высоту поперечного сечения. Эта функция зависит от изменения размеров характерных элементов профиля детали: длины полок, толщины стенок.

Известное напряженно-деформированное состояние кольцевой заготовки при $n = 2z$ позволяет определить необходимые значения параметров с индексом «$n-1$» из следующих *соотношений:*

$$\begin{aligned}
&L_0 = L_з(1+\varepsilon_s);\\
&\varepsilon_p = \left[(K/E)\left(2/\sqrt{3}\right)^{1+m}\right]^{1/(1-m)};\\
&r_0 = 1/\left[2\pi/L_0 + \varepsilon_p\cos(z\varphi)/H_0\right];\\
&\varepsilon_0 = \varepsilon_s;\\
&\sigma_0 = E(y/r_0);\\
&\rho_0 = L_0/2\pi + (R_0 - L_0/2\pi)\cos(\varphi z);\\
&\alpha_0 = \arcsin\left\{\rho_0/\left[\rho_0^2 + z^2\left(R_0 - L_0/2\pi\right)^2\sin^2(z\varphi)\right]^{1/2}\right\};\\
&y_{s0} = \left|\varepsilon_s/(1/r_0 - 2\pi/L_0)\right|;\\
&y_{Ц0} = H_0/2.
\end{aligned} \qquad (7)$$

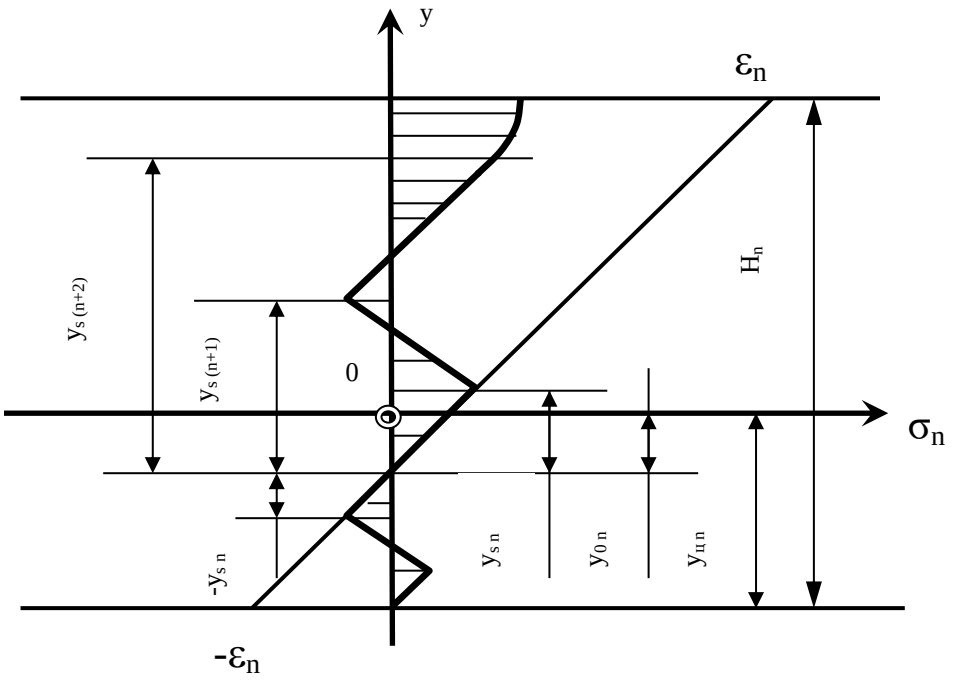



**Рис. 2.9. Схема построения эпюр деформаций $\varepsilon_n$ и напряжений $\sigma_n$ по полуциклам нагружения n в поперечном сечении заготовки при φ = 0**

В уравнениях (7) заложен критерий минимальной достаточной деформации $\varepsilon_s$ для правки-калибровки исходной заготовки с периметром $L_з$.

Процесс ротационной раздачи заготовки считается законченным, когда перепад кривизны вдоль периметра после разгрузки не превышает допустимого значения $\Delta_k$:

$$\Delta_k = \left| \frac{M\big|_{\varphi=0}}{EJ} - \frac{\varepsilon_p}{H - y_Ц} \right| \le \frac{1}{2} \left| \frac{D+\delta}{(D-\delta)^2} - \frac{D-\delta}{(D+\delta)^2} \right|, \qquad (8)$$

где $H, y_ц, J, D, \delta$ – геометрические параметры, определяемые по чертежу кольцевой детали.

По условию (8) определяется длительность рабочего цикла ротационной раздачи (правки-калибровки) заготовки.

Другой технологический параметр – радиус раздачи роликов определяется из соотношения:

$$R_n = R_0 + t_p\, n/z. \qquad (9)$$

Основным критерием эффективности процесса РПК считаем точность геометрических размеров кольцевой детали. Тогда, искомое значение величины $R_0$ должно удовлетворять минимуму функционала $F(L_н - L) \to 0$, где $L_н, L$ – номинальное и расчетное значение периметра детали, определяемое на траектории решения систем уравнений (1) – (9). Алгоритм поиска номинальных значений

технологических параметров стандартный. Заключается в организации итерационных вычислений по заданным критериям эффективности процесса РПК.

Полученная модель учитывает геометрическую и физическую нелинейность рассматриваемого процесса РПК. Эта детерминированная математическая модель позволяет разработать алгоритм расчета оптимальных технологических параметров процесса ротационной раздачи совмещенной с процессом профилирования поперечного сечения кольцевой заготовки из листовых материалов.

## 3. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 3.1.Примеры расчета технологических параметров процесса РПК с электро-контактным нагревом кольцевых заготовок

Для широкого диапазона типоразмеров кольцевых деталей разработаны многочисленные методики расчета технологических параметров РПК, параметров заготовок, оснастки и настройки оборудования.

На основе численного расчета параметров процесса РПК проведенных работ с помощью аппроксимирующих функций и многочисленных экспериментальных проверок, выведены аналитические зависимости, позволяющие оперативно рассчитывать параметры управления процессом РПК для широкой номенклатуры кольцевых деталей.

Например величина скорости вращения нагреваемой заготовки $V_н$ определена из условия исключения перегрева металла заготовки в контактных зонах и из условия обеспечения допустимого перепада температуры нагрева заготовки вдоль ее периметра. При рассчитанной силе тока, достаточной для компенсации тепловых потерь в оснастку, номинальная скорость вращения заготовки определяется по формуле:

$$V_н = \frac{4\lambda \times F_1 \times z_ф (T_н - \frac{\Delta T}{2} - 20)\left[1 + \cos(\frac{2\pi}{z})\right]}{1.11^3 L_o^2 \times C_v \times \rho_н \times H_1 \times r_k \times \varepsilon_s (T_н + \frac{\Delta T}{2} - 20)}, \text{ [мм/с]}$$

где:

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности металла, [Вт/град·мм];

$F_1$ - максимальная площадь контакта заготовки с формующим роликом, [мм$^2$];

$z_ф$ - количество роликов формующих заготовку;

$T_н$ - температура нагрева металла заготовки, [град];

$\Delta T$ - величина допустимого перепада $T_н$ вдоль периметра заготовки, [град];

$C_v$ - удельная теплоемкость металла заготовки, [Вт·сек/кг·град];

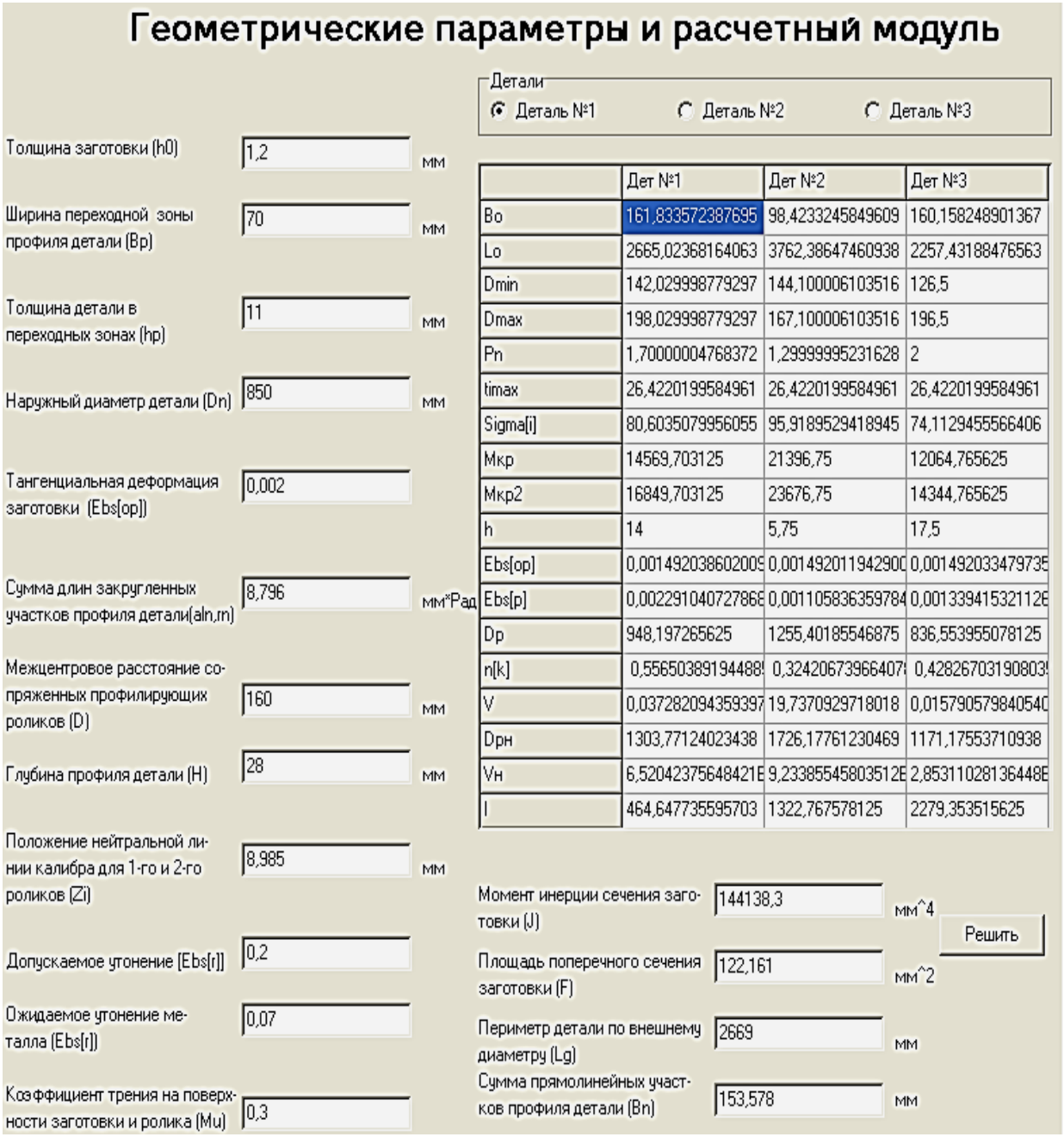
$\rho_n$ - плотность металла заготовки, [кг/мм$^3$];

$r_k$ - среднее значение радиуса токоподводящего ролика до зоны контакта, [мм];

$\varepsilon_s$ - величина тангенциальной деформации, соответствующая пределу текучести металла.

Ра рисунках 2.10 – 2.12 представлены фрагменты листинга расчётных программ реализованных в разных CAE системах: Excel, MathCad, C++Builder

.




| | Дет №1 | Дет №2 | Дет №3 |
|---|---|---|---|
| Bo | 161,833572387695 | 98,4233245849609 | 160,158248901367 |
| Lo | 2665,02368164063 | 3762,38647460938 | 2257,43188476563 |
| Dmin | 142,029998779297 | 144,100006103516 | 126,5 |
| Dmax | 198,029998779297 | 167,100006103516 | 196,5 |
| Pn | 1,70000004768372 | 1,29999995231628 | 2 |
| timax | 26,4220199584961 | 26,4220199584961 | 26,4220199584961 |
| Sigma[i] | 80,6035079956055 | 95,9189529418945 | 74,1129455566406 |
| Mкр | 14569,703125 | 21396,75 | 12064,765625 |
| Mкр2 | 16849,703125 | 23676,75 | 14344,765625 |
| h | 14 | 5,75 | 17,5 |
| Ebs[op] | 0,00149203860200 | 0,00149201194290 | 0,00149203347973 |
| Ebs[p] | 0,00229104072786 | 0,00110583635978 | 0,00133941532112 |
| Dp | 948,197265625 | 1255,40185546875 | 836,553955078125 |
| n[k] | 0,55650389194488 | 0,32420673966407 | 0,42826703190803 |
| V | 0,03728209435939 | 19,7370929718018 | 0,01579057984054 |
| Dpн | 1303,77124023438 | 1726,17761230469 | 1171,17553710938 |
| Vн | 6,52042375648421E | 9,23385545803512E | 2,85311028136448E |
| l | 464,647735595703 | 1322,767578125 | 2279,353515625 |

**Рис. 2.10. Расчётный модуль в C++Builder**

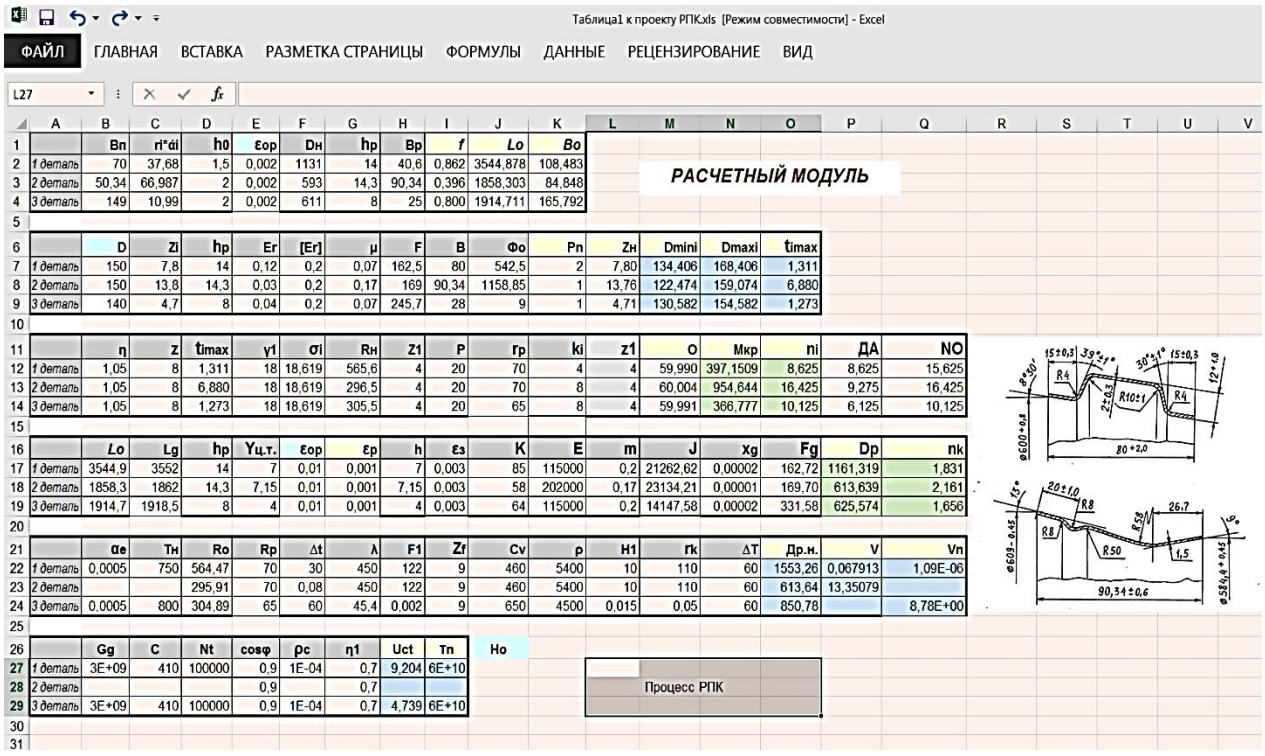



**Рис. 2.11. Расчётный модуль в Excel**

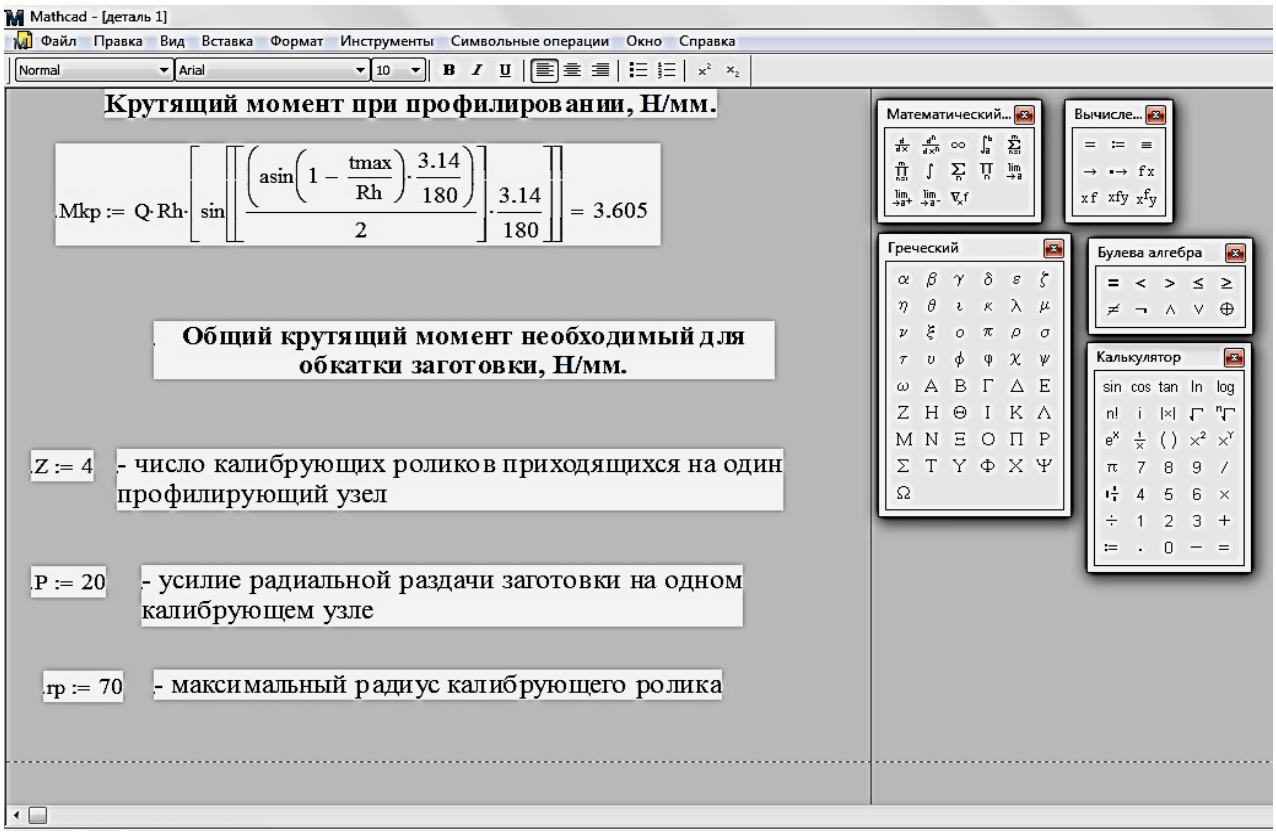



**Рис. 2.12. Расчётный модуль в MathCad**

### 3.2. Проектирование оснастки и оборудования для реализации процесса ротационного формообразования кольцевых корпусных деталей газотурбинных двигателей

**Техническое задание**

на проектирование специализированной установки для ротационного профилирования и калибровки (РПК) тонкостенных кольцевых деталей

1. Установка РПК – предназначена для изготовления кольцевых деталей из листовых титановых сплавов и жаропрочных сталей со следующими параметрами:

- внешний диаметр в диапазоне 500-2000 мм;
- толщина листа в диапазоне 0,8-3,5 мм;
- глубина профиля до 50 мм;

2. Установка РПК должна обеспечить совмещение следующих технологических операций:

- профилирование поперечного сечения;
- правку-калибровку по диаметру;
- общий электро-контактный нагрев кольцевой заготовки из мало пластичных сплавов.

Изготовление деталей должно осуществляться за один установ заготовки.

3. Установка РПК должна обеспечивать три вида технологических перемещений (формующей оснастки и заготовки):

- синхронизацию радиальную раздачу, равнорасположенных по окружности, калибрующих роликов;
- радиальное перемещение ответных профилирующих роликов;
- вращение попарно профилирующих, радиально сближающихся, роликов.

4. Установка РПК должна иметь автономные приводы на каждый вид технологических перемещений, удовлетворяющих следующим требованиям:

- усилие радиальной раздачи на один калибрующий ролик до 20 кН.
- усилие профилирования до 60 кН.
- крутящий момент на приводных валах до 40 кН·м.
- возможность плавного изменения скорости вращения приводных валов в диапазоне 2-15 об/мин.

- 5. Установка РПК должна быть снабжена системой электронного нагрева кольцевых заготовок из титановых сплавов в процессе формообразования. Система нагрева должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать равномерный нагрев кольцевой заготовки до температуры

780 С ±30 С – для материала ОТ-4

830 С ±20 С – для материала ВТ-20

- мощность силового трансформатора – 100 кВт;
- сила постоянного тока 5000 А;
- подводимая мощность тока должна регулироваться величиной напряжения в цепи нагрева в диапазоне 30-70 В. Недопустимо искрение и прожоги ма-

териала заготовки.

6. Конструктивные ограничения:

- количество калибрующих роликов 8 шт.
- количество профилирующих узлов 2 (4) шт.
- максимальное рабочее радиальное перемещение роликов 100 мм.
- возможность переустанавливать комплекты формующих роликов на требуемы диаметр деталей.
- максимальные диаметры формующих роликов -190 мм.
- максимальное межцентровое расстояние между профилирующими роликами - 250мм.

Токоподводящие – калибрующие ролики должны быть изолированы от корпуса установки диэлектрическими шайбами и втулками. Токоподводящие шины (кабели) должны быть водо-охлаждаемые.

7. Необходимо предусмотреть элементы безопасной эксплуатации установки:

- наличие заземления;
- наличие ограждения зоны с формующей оснасткой;
- наличие сигнализации и аварийного останова.

Для рассматриваемой номенклатуры кольцевых корпусных деталей газотурбинных двигателей (рис. 3.1) на основе теоретических разработок, проведённых расчётов и практических исследований на экспериментальной установке (рис. 3.2) спроектированы [7] различные модификации специализированного оборудования и комплекты формующей оснастки (рис. 3.3 - 3.9).

Представленные разработки позволяют эффективно проектировать и осваивать процесс РПК для изготовления широкого диапазона типоразмеров тонкостенных кольцевых деталей ГТД.

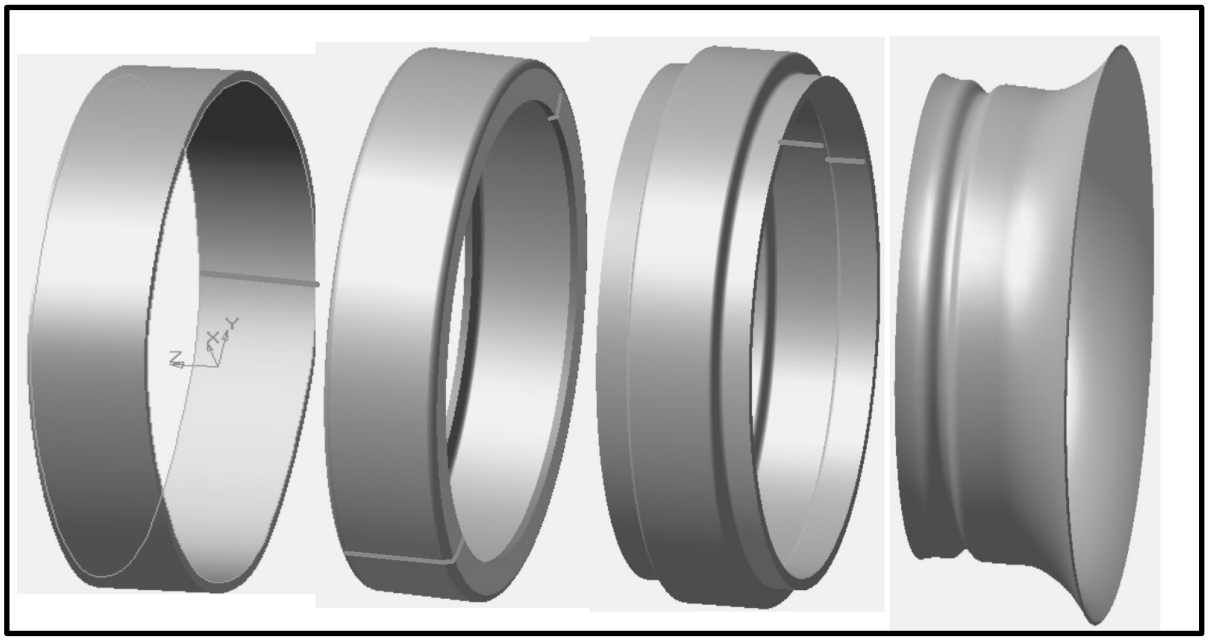


**Рис. 3.1. Основные типоразмеры кольцевых деталей корпуса ГТД**

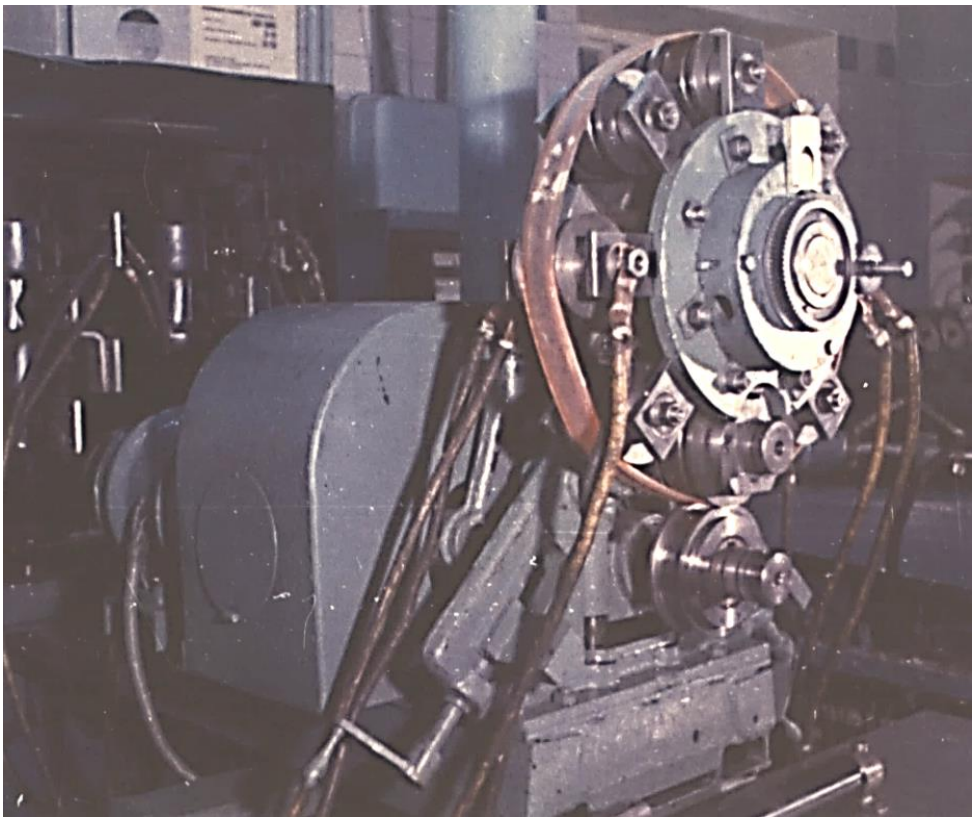


**Рис. 3.2. Экспериментальная установка с нагретой кольцевой заготовкой из титанового сплава**

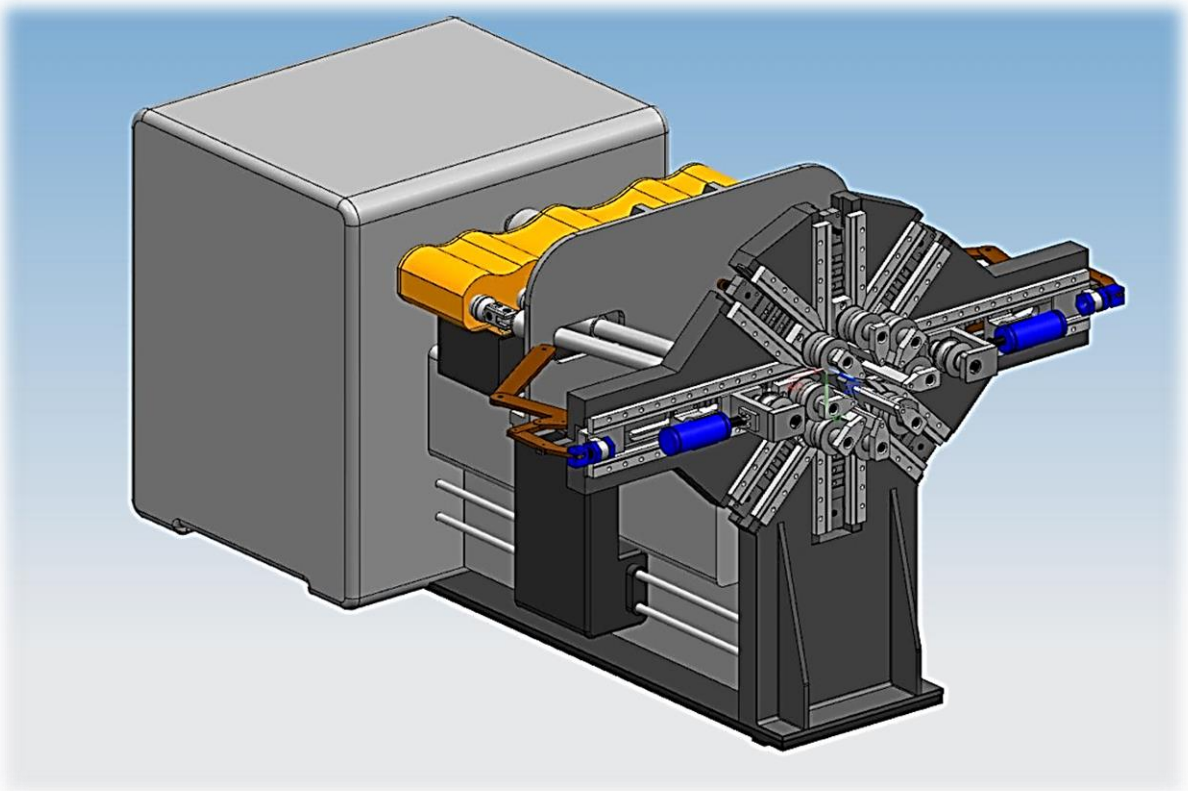


**Рис. 3.3. Установка РПК на базе токарно-лобового станка**

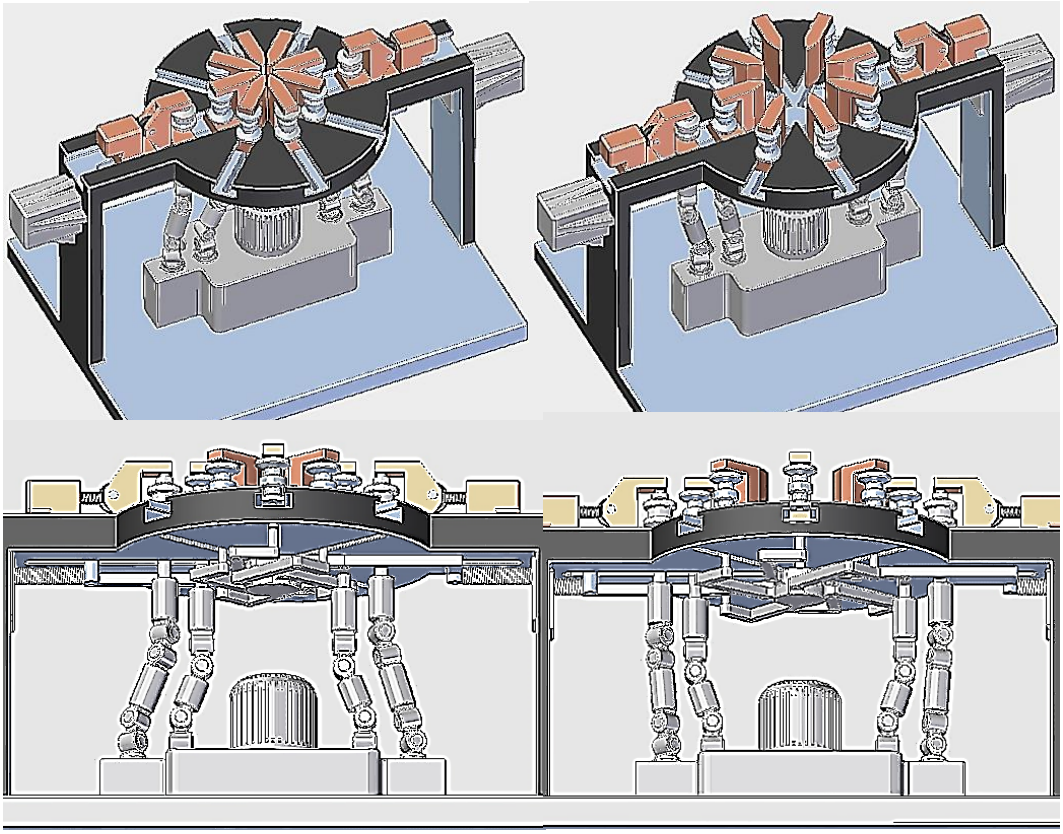


**Рис. 3.4. Динамика перемещения формующей оснастки на примере эскизного проекта оборудования РПК**

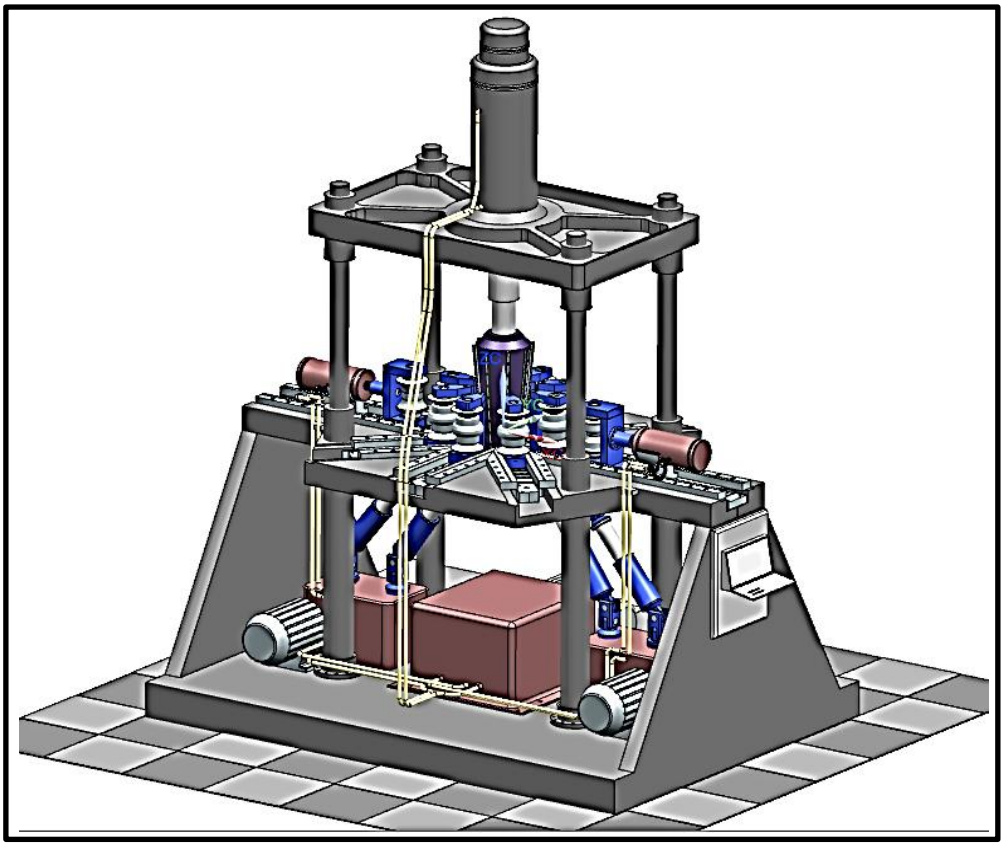


**Рис. 3.5. Проект промышленной установки РПК с гидроприводами**

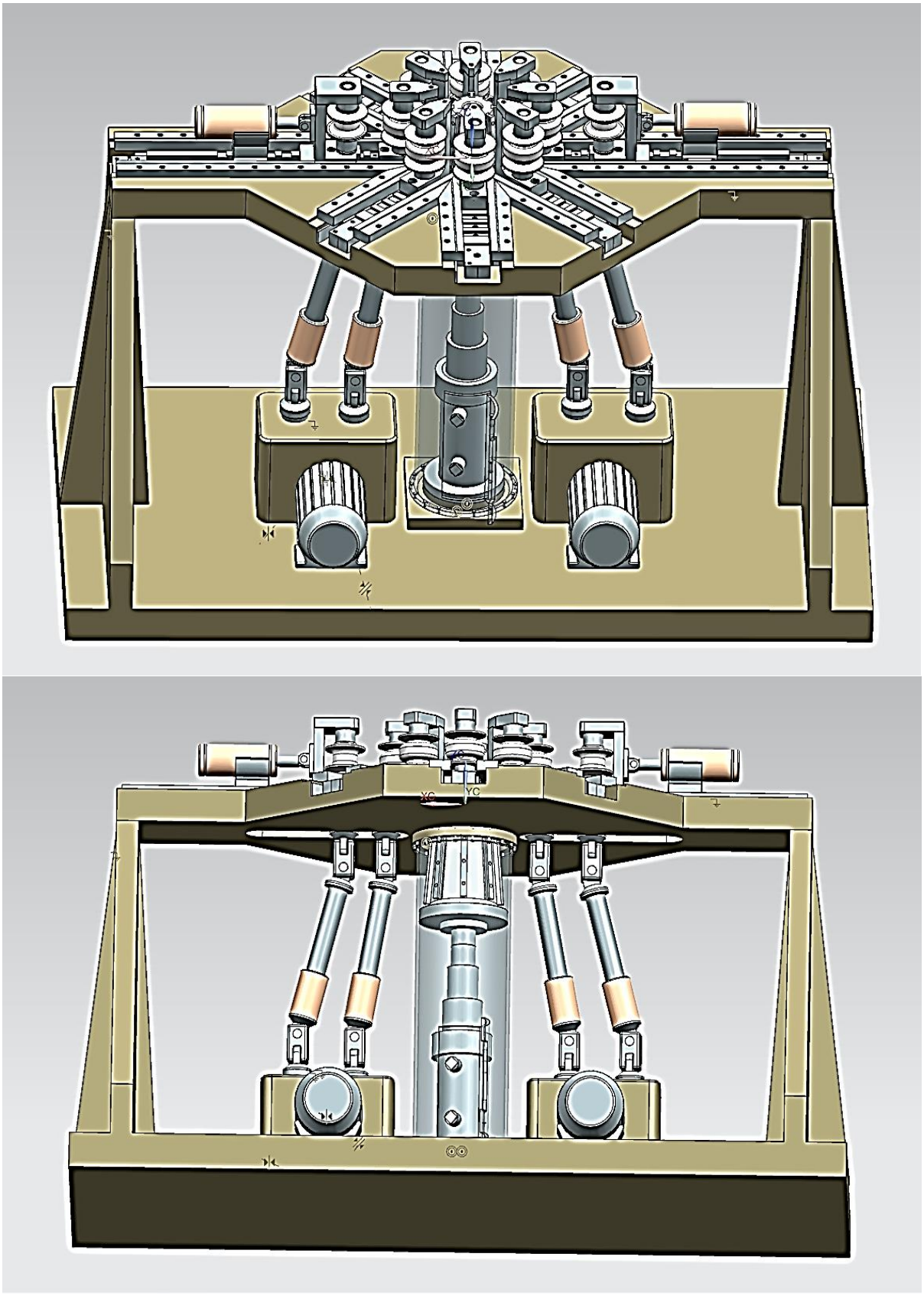


**Рис. 3.6. Наиболее эффективный вариант специализированного оборудования РПК по кинематике и типам приводов**

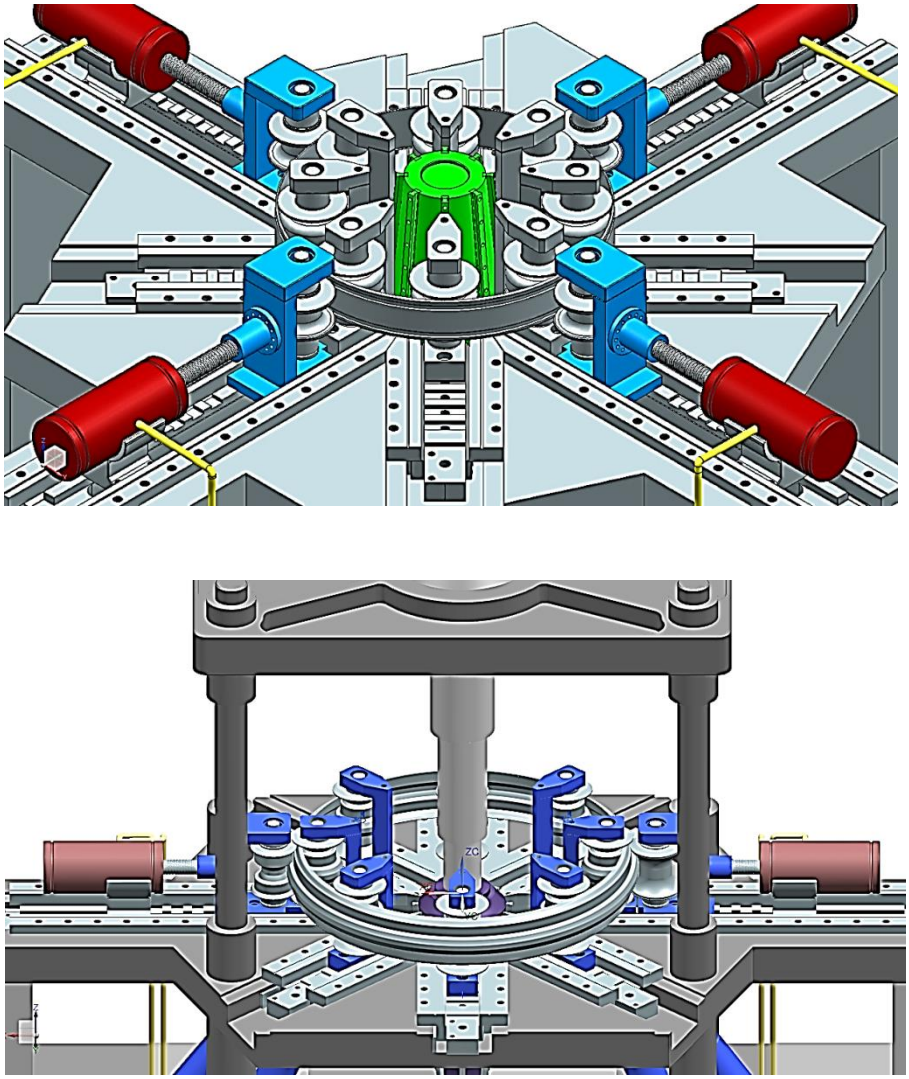


**Рис. 3.7. Варианты оборудования РПК для изготовления крупногабаритных кольцевых деталей сложного профиля поперечных сечений**

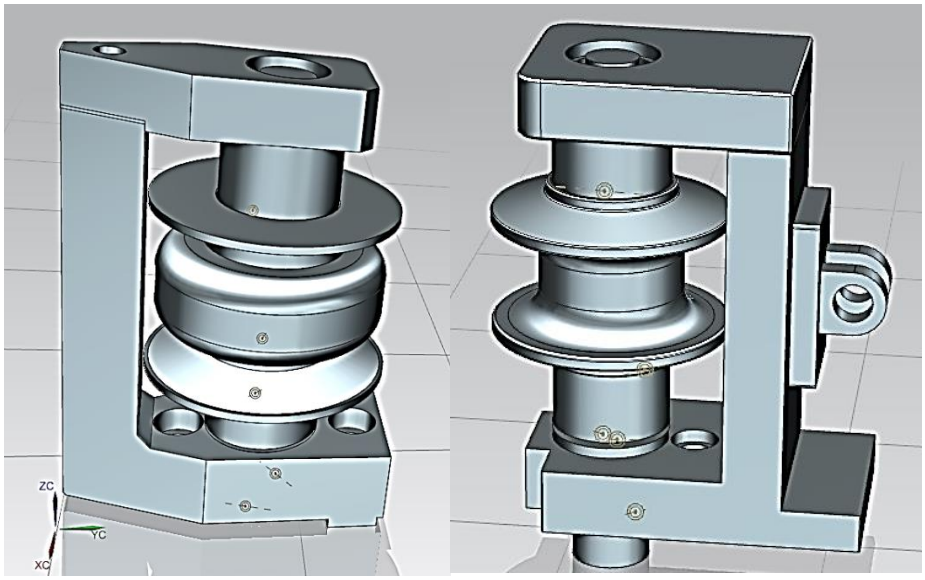



**Рис. 3.8. Комплект сопряженных калибрующих и профилирующих роликов для реализации процесса РПК**

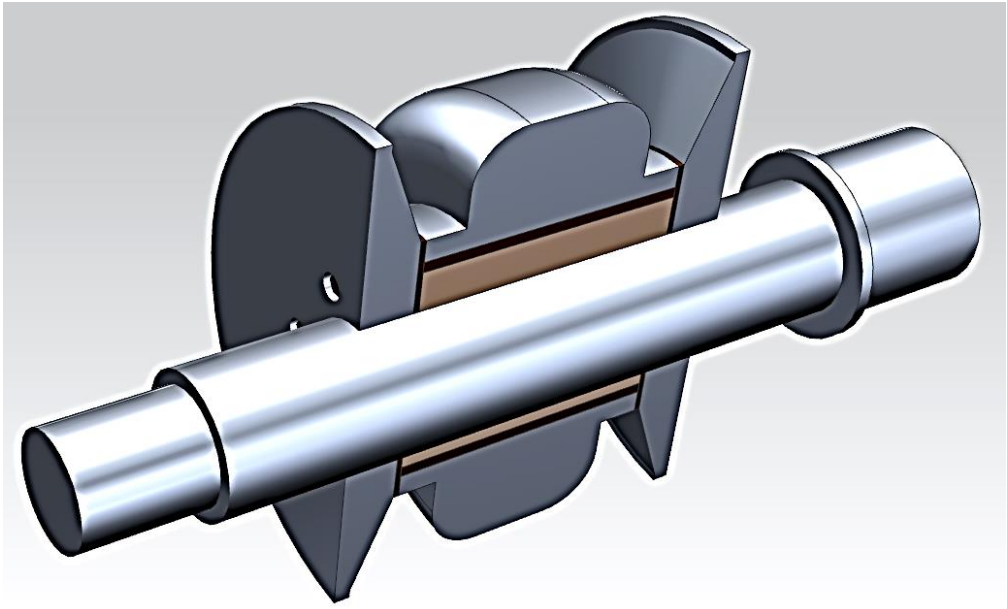


**Рис. 3.9. Сборная конструкция калибрующего токоподводящего ролика**

**Список источников**

1. Раздайбедин А.А., Ибрагимов К.В. Математическая модель совмещенных процессов ротационного формообразования кольцевых деталей //Изв, вузов. Авиационная техника. – 1995, № 3. – С. 62 – 65.

2. Раздайбедин А.А. Методика расчета параметров процесса ротационного формообразования кольцевых деталей. – Тезисы доклада на НТК: Новые материалы и технологии. – М.: МАТИ, 1996. С. 64 - 66.

3. А.с. 1266887. Контактирующее устройство для подвода электротока к протяжному изделию переменного профиля /А.А. Раздайбедин, К.В. Ибрагимов и др. – Опубл. 1986, Бюл. № 40. – 2 с.

4. А.с. 1315074. Способ ротационного формообразования кольцевых деталей /К.В. Ибрагимов, А.А. Раздайбедин. – Опубл. 1987. Бюл. № 21. – 4 с.

5. А.с. 1459794. Устройство для ротационно-радиального формообразования кольцевых деталей /К.В. Ибрагимов, А.А. Раздайбедин и др. – Опубл. 1989. Бюл. № 7. – 3 с.

6. А.с. 1636453. Способ обработки кольцевых заготовок из высокопрочных сплавов / И.М. Закиров, А.А. Раздайбедин, К.В. Ибрагимов. – Опубл. – 1991, Бюл. № 11. – 5с.

7. Раздайбедин А.А., Матюнина А.Г. Технология и оборудование процесса изготовления кольцевых корпусных деталей газотурбинных двигателей. – Тезисы доклада на НТК: «АКТО-2018». – КНИТУ-КАИ, том №2. – С. 249 – 253.

© А.А. Раздайбедин, 2023

УДК 629.113.012

# ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ МАШИН ИЗ-ЗА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ

**Муртузов Муртуз Магомедович**
к.т.н., научный сотрудник
НИИ РПИ ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»,
Махачкалинский филиал
**Гадуниев Расул Гаджигасанович**
студент
ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»

**Аннотация:** эксплуатационные свойства автомобиля напрямую зависят от величины давления воздуха в шинах. Стабилизация нормативного давления в шинах является в настоящее время нерешенной проблемой эксплуатации автотранспорта. В данной работе приведены статистические исследования давления в шинах автотранспортных средств эксплуатируемых в Российской Федерации и Европе. Проанализированы причины изменения давления воздуха в шинах автомобиля при эксплуатации. В Европе, давление в шинах только у 10% автомобилей снижено настолько, что эксплуатация автомобиля является особо опасной, а у 30% – потенциально опасной [1]. Обеспечение нормативного давления в шинах пневмоколесных строительно-дорожных машин напрямую влияет на эксплуатационные свойства [10], устойчивость, маневренность, безопасность и т.д.
**Ключевые слова:** эксплуатация автомобиля, шины, изменение давления воздуха, газопроницаемость, моделирование.

## ESTIMATION OF ADDITIONAL FUEL CONSUMPTION OF CONSTRUCTION PNEUMATIC-WHEELED VEHICLES DUE TO REDUCED TIRE PRESSURE

**Murtuzov Murtuz Magomedovich,**
**Gaduniev Rasul Gadzhigasanovich**

**Abstract**: The performance properties of the car directly depend on the amount of air pressure in the tires. Stabilization of the standard tire pressure is currently an unsolved problem in the operation of vehicles. This paper presents statistical studies of tire pressure in vehicles operated in the Russian Federation and Europe. The reasons for changing the air pressure in the car tires during operation are analyzed. In Europe, tire pressure in only 10% of cars is reduced so much that the operation of the car is particularly dangerous, and in 30% – potentially dangerous [1]. Ensuring the standard tire pressure of pneumatic-wheeled road construction machines directly affects the operational proper-

ties, stability, maneuverability, safety, etc.
**Keywords:** car operation, tires, air pressure change, gas permeability, modeling.

Проведенные исследования давления в шинах транспортных средств, в том числе строительно-дорожных машин, эксплуатируемых в Российской Федерации, показало, что лишь у 15% транспортных средств давление воздуха в шинах соответствует нормативному значению, у 50% отклонение давления два раза ниже нормативного, а у 35% –более чем в 2 раза ниже нормативного. Таким образом, можно утверждать, что с ненормативным давлением воздуха в шинах эксплуатируется более половины строительно-дорожных машин России. Это увеличивает затраты на эксплуатацию транспортных средств, вследствие увеличения расхода топлива и износа шин, ухудшает их экологичность и безопасность дорожного движения [2].

Воздух состоит в основном из двух газов: азота 78% и кислорода 21%. Если шина наполнена воздухом, то для расчета полной утечки воздуха необходимо сначала найти утечку путем диффузии каждого газа, а затем суммировать результат. Кислород проникает сквозь резину в 3 – 4 раза быстрее, чем азот, что оказывает достаточно сильное влияние на утечку газов из шины.

После получения положительных результатов по применению азота в спорте, он стал внедряться у грузовых автомобилей и автобусов. Это объясняется тем, что первое время установки по получению азота были слишком громоздкими, поэтому наполнять им шины могли позволить себе только автопредприятия с централизованным автосервисом [3,11].

Сейчас азот стал широко использоваться частными лицами для любых автомобилей, а установки или баллоны с газом находятся во многих автосервисах. Распространённость азота в качестве газа-наполнителя автомобильных шин можно объяснить по структуре соответствия требованиям к газу, описанным выше [4]:

1) диффузия азота находится на низком уровне и в несколько раз ниже, чем у кислорода;

2) азот при нагреве расширяется несколько меньше, чем кислород;

3) азот получается в больших объёмах на кислородных заводах и на компактных установках;

4) в воздухе содержится 78% азота, он не обладает ни вкусом, ни запахом, ни цветом;

5) азот не горит и не воспламеняется;

6) азот не является химически активным элементом, поэтому в реакциях окисления и коррозии не участвует;

7) во время получения газа происходит практически полная очистка от каких-либо примесей.

Совокупность всех этих факторов и привела к широкому внедрению азота. Некоторые установки по получению азота описаны в литературе [4].

Диффузия в шинах движущегося строительной машины протекает не равномерно, чему способствует деформации элементов и изменение поля температур шины, в том числе в результате разгонов и торможений. Выявлено, что при заправке шины воздухом концентрация кислорода в нем с течением времени уменьшается по экспоненциальной кривой, причем шина, заправленная и подкачиваемая воздухом, практически полностью освобождается от кислорода через 70… 350 суток (в зависимости от газопроницаемости ее материалов), а период между восстановлениями нормативного давления в шине при этом увеличивается [5,6,12].

Сравнение результатов расчетов на математической модели процесса изменения давления воздуха в шине вследствие газопроницаемости ее материалов с результатами экспериментально исследования шин было выполнено для обоснования принятых при моделировании допущений.

При разработке математической модели были приняты следующие допущения, которые значительно упрощают математическое моделирование:

1) стенки шины абсолютно нерастяжимы, т.е. объем шины не зависит от давления;

2) толщина герметизирующего слоя шины одинакова по всей ее поверхности;

3) газ в шине идеальный;

4) температура шины постоянна.

Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных представлены на рисунках 1 и 2.

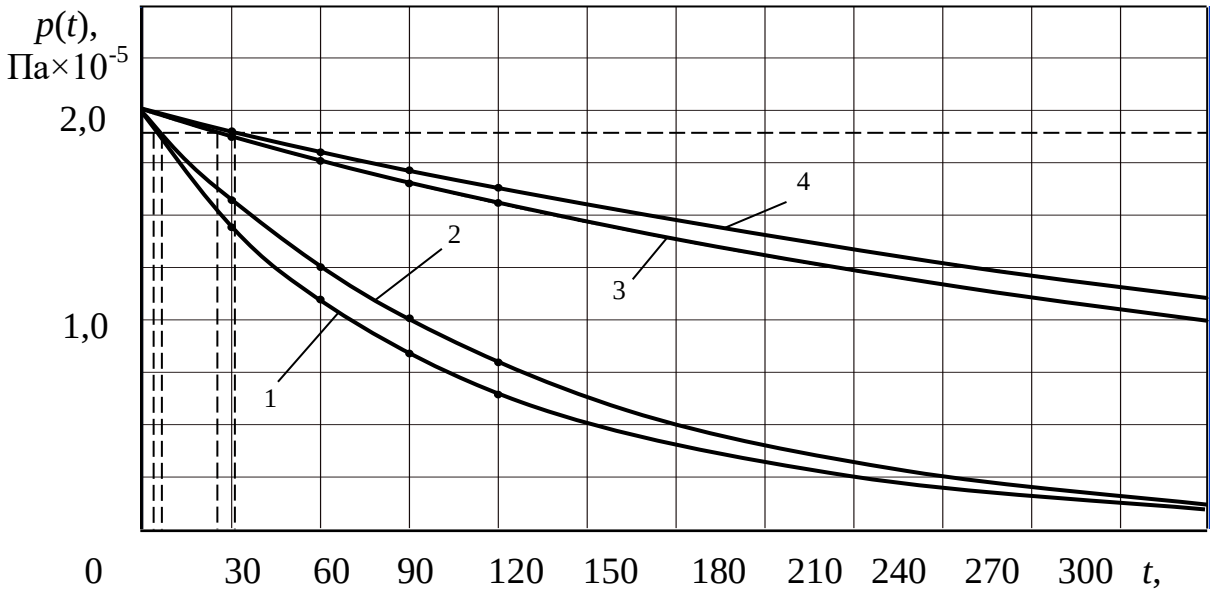



**Рис. 1. Зависимости давления в шине, заправленной воздухом (кривые 1 и 3) и чистым азотом (кривые 2 и 4) от времени: 1 и 2 – шины с высокой газопроницаемостью; 3 и 4 – шины с низкой газопроницаемостью (при температуре 65 °С); • – экспериментальные точки**

На рисунках 1 и 2 видно, что экспериментальные точки расположены практически на теоретических кривых. Таким образом, сравнение результатов расчетов на разработанной математической модели с результатами экспериментов показало их хорошую сходимость.

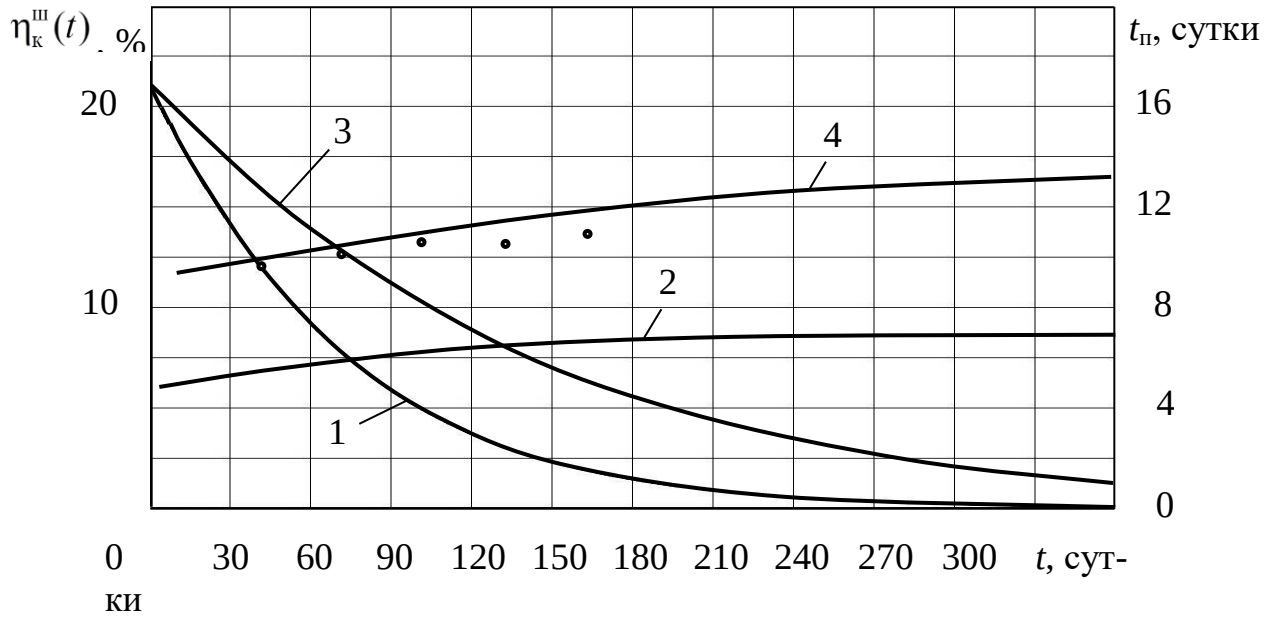



**Рис. 2. Графики изменения концентрации кислорода в шине с учетом заправки воздухом при достижении нижней границы нормативного давления (кривые 1 и 3) и графики изменения периода восстановления нормативного давления (кривые 2 и 4): кривые 3 и 4 соответствуют шине с в 2 раза меньшей газопроницаемостью; – экспериментальные точки**

Исследование давления воздуха в шинах автомобилей, находящихся в эксплуатации частных лиц и организаций независимо от прав собственности было проведено автором, совместно с А.В. Сычевым и Ш.Д. Гечекбаевым в г. Волгограде. В процессе исследования было произведено измерение давления в шинах 100 автомобилей (400 шин) путем случайной выборки. Для обеспечения статистически однородных условий измерение давления производилось на стоянке перед выездом автомобилей в утренние часы при температуре 18 – 20 ºС. По значению каждого измерения определялось соответствующее относительное давление $\rho_i$ как доля фактического давления от нормативного давления:

$$\rho_i = \frac{p_i}{p_{0i}}, \quad (1)$$

где $p_i$ – фактическое давление в $i$-ой шине, $p_{0i}$ – нормативное давление для $i$-ой шины. Диапазон полученных таким образом значений относительного давления составил от $\rho_{min} = 0{,}78$ до $\rho_{max} = 1{,}05$.

Для выявления закона распределения относительного давления в шинах по

результатам выборки был построен вариационный ряд. Оптимальная величина интервалов $\Delta\rho$ вариационного ряда определялась по формуле Стерджеса:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{1 + 3{,}322 \lg n}, \quad (2)$$

где $n$ – объем выборки (количество шин). Отсюда $\Delta\rho = \frac{1{,}05 - 0{,}78}{1 + 3{,}322 \lg 400} = 0{,}028$.

Для удобства расчетов было принято $\Delta\rho = 0{,}03$ и составлен вариационный ряд с интервалами $(\rho_{j-1}; \rho_j)$, серединами интервалов $\overline{\rho}_j = \frac{\rho_{j-1} + \rho_j}{2}$, числом попаданий в интервалы $\Delta m_j$ и относительными частотами попаданий $p_j^*$ (табл. 1).

**Таблица 1**

**Интервальный вариационный ряд распределения относительного давления**

| $\rho_{j-1}; \rho_j$ | 0,765; 0,795 | 0,795; 0,825 | 0,825; 0,855 | 0,855; 0,885 | 0,885; 0,915 | 0,915; 0,945 | 0,945; 0,975 | 0,975; 1,005 | 1,005; 1,035 | 1,035; 1,065 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\overline{\rho}_j$ | 0,78 | 0,81 | 0,84 | 0,87 | 0,90 | 0,93 | 0,96 | 0,99 | 1,02 | 1,05 |
| $\Delta m_j$ | 1 | 2 | 17 | 43 | 70 | 118 | 92 | 46 | 8 | 3 |
| $p_j^*$ | 0,0025 | 0,0050 | 0,0425 | 0,1075 | 0,1750 | 0,2950 | 0,2300 | 0,1150 | 0,0200 | 0,0075 |

По данным таблицы 1 построена статистическая функция и гистограмма распределения как графическое изображение распределения значений относительного давления в шинах автомобилей (рис. 3, 4).

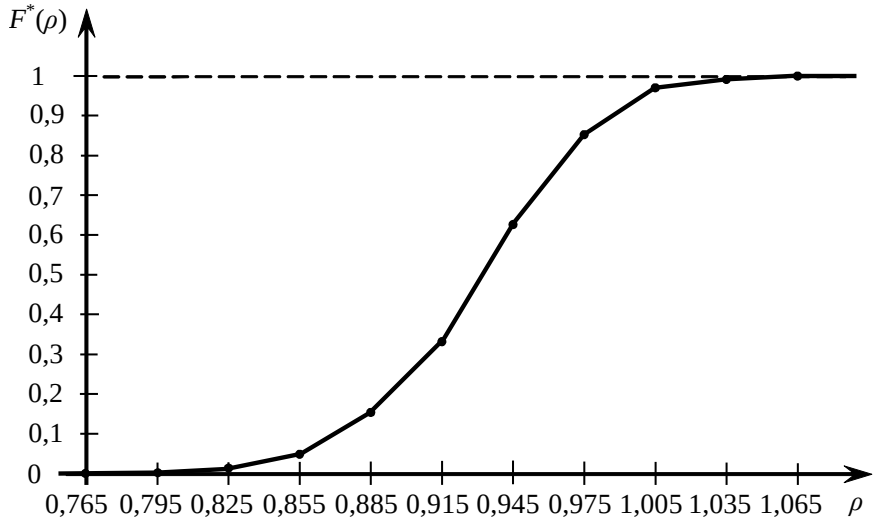



**Рис. 3. Статистическая функция распределения относительного давления в шинах**

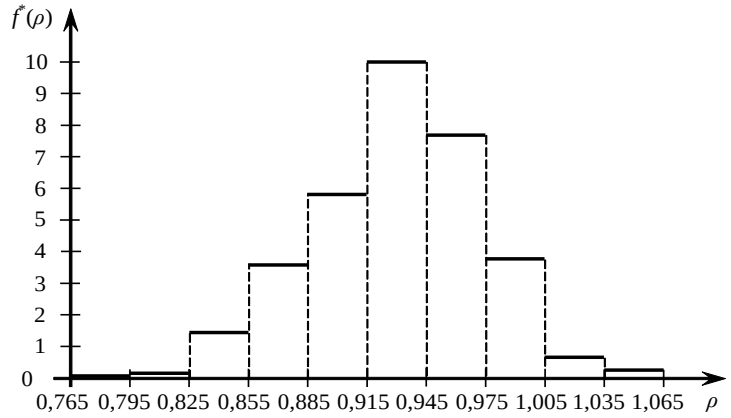



**Рис. 4. Гистограмма (статистическая плотность) распределения относительного давления в шинах**

В результате расчетов получены следующие статистические оценки характеристик распределения:

– статистическая оценка математического ожидания (среднее относительное давление) $P_{ср} = 0{,}930$;

– несмещенная оценка дисперсии $\hat{D}_{\rho} = 0{,}001913$;

– оценка среднеквадратического отклонения $\hat{\sigma}_{\rho} = 0{,}043735$;

– оценка коэффициента вариации $\hat{v}_{\rho} = 0{,}047$.

По виду графиков можно предположить нормальный закон распределения относительного давления. Коэффициент вариации составляет менее 33%, следовательно, можно проводить проверку нормального закона распределения.

Плотность нормального закона распределения на основании полученных статистических оценок

$$f(\rho) = \frac{1}{0{,}0437\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\rho-0{,}93)^2}{2\cdot 0{,}0437^2}}. \qquad (3)$$

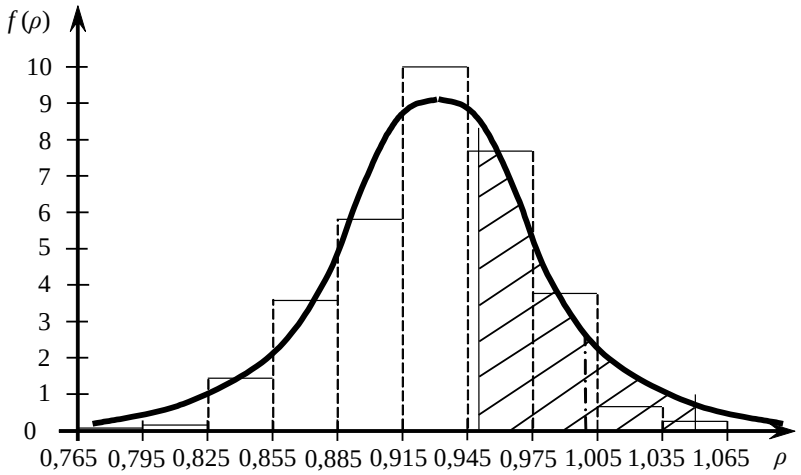



**Рис. 5. Гистограмма распределения относительного давления в шине и сглаживающая ее теоретическая кривая распределения**

По этой зависимости построен график плотности, наложенный на имеющуюся гистограмму (рис. 5).

Проверка гипотезы о нормальном распределении относительного давления по критерию трех сигм ($3\sigma$) показала удовлетворительную сходимость выбранного закона распределения и имеющихся статистических данных.

Давление в эксплуатируемой шине должно находиться в пределах $\pm 5\%$ от нормативного. Следовательно, относительное давление должно находиться в границах от $\rho_{н\,min} = 0{,}95$ до $\rho_{н\,max} = 1{,}05$. Пользуясь полученным законом распределения, определим вероятность нахождения относительного давления в шине в этих границах:

$$P(0{,}95\rho_0 < \rho_0 < 1{,}05\rho_0) = \Phi\left(\frac{\rho_{н\,max} - P_{ср}}{\hat{\sigma}_\rho}\right) - \Phi\left(\frac{\rho_{н\,min} - P_{ср}}{\hat{\sigma}_\rho}\right) =$$

$$= \Phi\left(\frac{1{,}05 - 0{,}93}{0{,}0437}\right) - \Phi\left(\frac{0{,}95 - 0{,}93}{0{,}0437}\right) = 0{,}997 - 0{,}676 = 0{,}321. \quad (4)$$

Эта вероятность представлена на рис. 5 в виде заштрихованной площади под кривой распределения. Интервальная оценка среднего относительного давления для доверительной вероятности 0,95 представляет интервал (0,9257;0,9343), а для доверительной вероятности 0,99 – интервал (0,9244;0,9356). Следовательно, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что значение математического ожидания генеральной совокупности находится в пределах 0,9257 – 0,9343, и с вероятностью 0,99 можно утверждать, что значение математического ожидания генеральной совокупности находится в пределах 0,9244 – 0,9356.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– вероятность нахождения давления в шине в границах $\pm 5\%$ от нормативного составляет 0,321. Это значит, что вероятность нахождения давления в шине за пределами этих границ составляет 0,679, то есть больше двух третей эксплуатируемых шин имеет ненормативное давление, причем 67,6% шин имеет пониженное давление, а 0,3% шин – повышенное давление;

– определение интервальных оценок среднего относительного давления показало, что вероятность существенного отклонения среднего относительного давления в шинах автомобилей Волгограда при описанных условиях измерения давления от полученного значения 0,93 ничтожно мала;

– математическое ожидание относительного давления в шине смещено от нормативного на 7%.

Для того чтобы оценить влияние давления в шине на дополнительный расход топлива поступаем следующим образом. На основании известной экспериментальной зависимости коэффициента сопротивления качению от скорости движения при различных значениях давления в шине [7,8], графики которой представлены на рис. 6., строим графики зависимости коэффициента сопротивления качению от давления в шине при различных значениях скорости движения автомобиля (рис. 7).

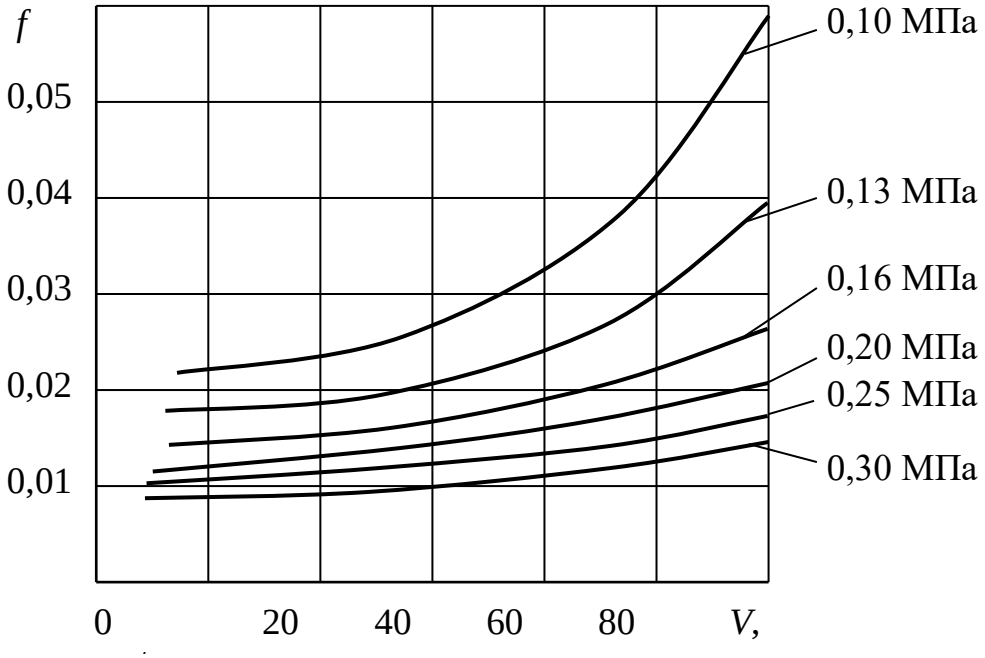



**Рис. 6. Зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости при различных значениях давления в шине**

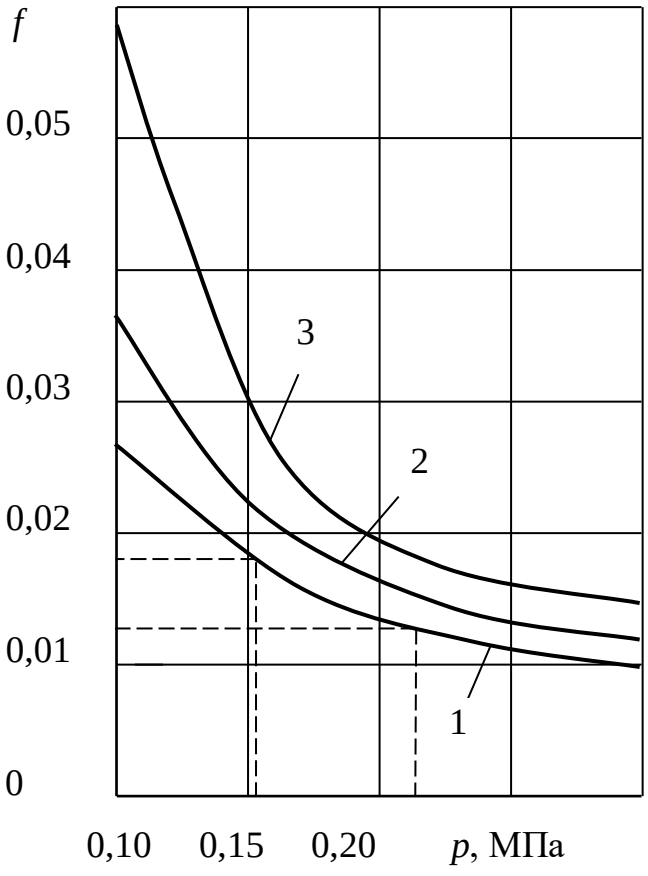



**Рис. 7. Зависимость коэффициента сопротивления качению от давления в шине при различных значениях скорости движения автомобиля: 1 – 60 км/ч, 2 – 90 км/ч, 3 – 120 км/ч.**

Из рис. 4 и 5 видно, что коэффициент сопротивления качению уменьшается с увеличением давления. Поскольку диапазон от $p^*_{\min} = 0{,}153$ МПа до $p^*_{\max} = 0{,}213$ МПа давлений в шинах в пределах вариационного ряда невелик [8], можно принять допущение, что в этом диапазоне уменьшение коэффициента сопротивления качению происходит по линейной зависимости, проходящей через точки $f(p_{\min})$ и $f(p_{\max})$ графика 1 на рис. 5. Графическим путем определяем $f(p^*_{\min}) = 0{,}0180$ и $f(p^*_{\max}) = 0{,}0127$ (штриховые линии на графике).

Далее используем полученные Г.В.Зимелевым экспериментальные зависимости расхода топлива от сопротивления качению при различных скоростях движения (рис. 6). Из рис. 6 видно, что зависимость расхода топлива от сопротивления качению в диапазоне изменения коэффициента сопротивления качению от $f_{\max} = f(p^*_{\min}) = 0{,}0155$ до $f_{\min} = f(p^*_{\max}) = 0{,}0127$ практически линейна для всех представленных скоростей движения. Определим графическим путем значения расхода топлива при граничных значениях диапазона изменения коэффициента сопротивления качению: $Q(f_{\min}) = 30{,}87$ л/100 км и $Q(f_{\max}) = 32{,}75$ л/100 км.

Из условия линейности зависимостей $f(p)$ и $Q(f)$ следует линейность зависимости расхода топлива от давления в шине $Q(p)$. Эту зависимость можно построить по двум точкам $Q(p^*_{\max}) = Q(f_{\min}) = 30{,}87$ л/100 км и $Q(p^*_{\min}) = Q(f_{\max}) = 34{,}50$ л/100 км. С учетом того, что $p^*_{\min} = 0{,}153$ МПа, $p^*_{\max} = 0{,}213$ МПа, получим: $Q(p) = 43{,}76 - 60{,}5p$.

Эту зависимость удобно представить в относительных величинах $q(\rho) = \dfrac{Q(\rho)}{Q(\rho_0)}$,

где $q(\rho)$ – Рис. 6. Зависимость, $Q(\rho)$ – расход топлива при данном давлении, $Q(\rho_0) = 31{,}66$ л/100 км – расход топлива при номинальном давлении. Тогда $q(\rho^*_{\max}) = 0{,}975$, $q(\rho^*_{\min}) = 1{,}090$ и, с учетом того, что $\rho^*_{\min} = 0{,}765$, $\rho^*_{\max} = 1{,}065$

$$q(\rho) = 1{,}38 - 0{,}38\rho. \qquad (5)$$

По формуле (5) строим график зависимости относительного расхода топлива от давления в шине (рис. 8).

Поскольку между двумя случайными величинами ρ и $q$ существует линейная зависимость, то эти величины имеют один закон распределения со взаимозависимыми параметрами и числовыми характеристиками. Используя оценки числовых характеристик распределения относительного давления ρ, вычислим соответствующие относительные числовые характеристики распределения относительного расхода топлива $q$, которые, соответственно, тоже являются оценками.

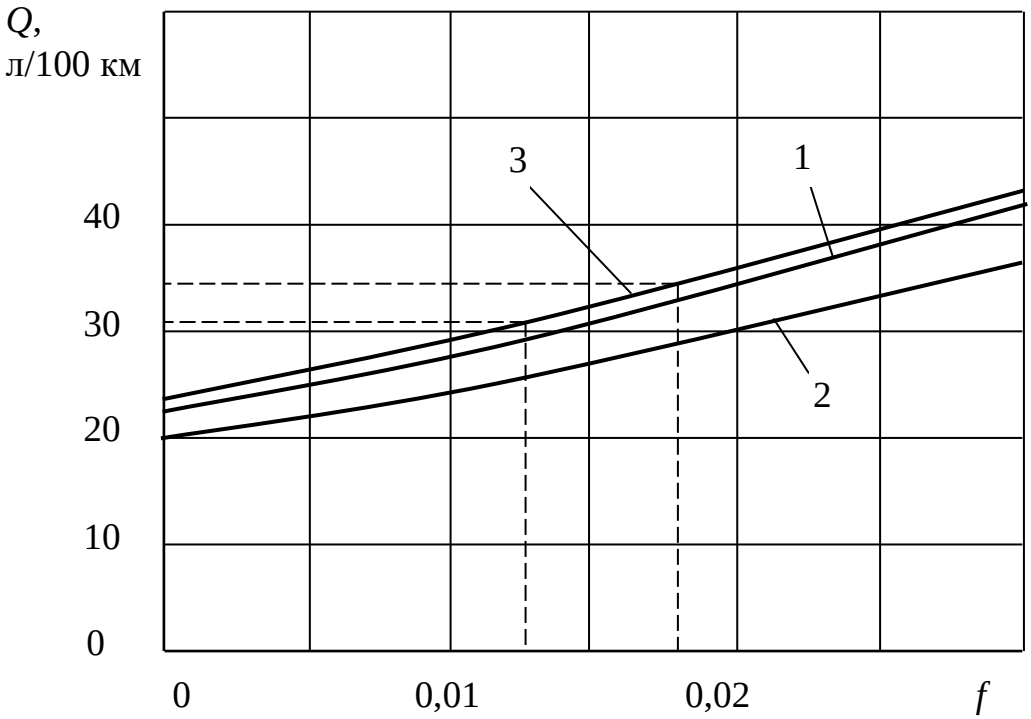



**Рис. 9. Зависимость расхода топлива от сопротивления качению при скоростях движения: 1 – 10 км/ч; 2 – 30 км/ч; 3 – 60 км/ч**

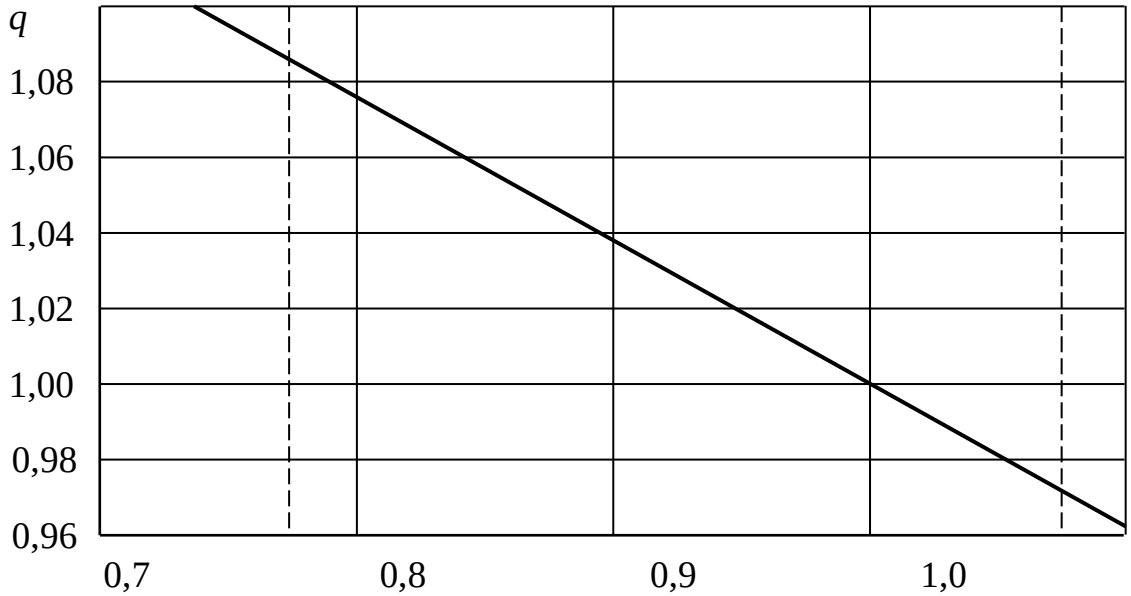



**Рис. 10. Зависимость относительного расхода топлива от давления в шине**

Оценка математического ожидания (среднее арифметическое):

$$M^*(q) = M^*(1{,}38 - 0{,}38\rho) = 1{,}38 - 0{,}38M^*(\rho) = 1{,}38 - 0{,}38 \cdot 0{,}93 = 1{,}027 .$$

Статистическая несмещенная дисперсия:

$$D^*(q) = D^*(1{,}38 - 0{,}38\rho) = 0 - 0{,}38^2 D^*(\rho) = 0{,}38^2 \cdot 0{,}0437 = 0{,}0631 .$$

Статистическое несмещенное среднеквадратичное отклонение:

$$S^*(q) = \sqrt{0{,}0631} = 0{,}079 .$$

Поскольку математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение являются параметрами нормального закона распределения, закон распределения относительного расхода топлива выражается плотностью вида:

$$f(q) = \frac{1}{0{,}079\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(q-1{,}027)^2}{2 \cdot 0{,}079^2}}.$$

Таким образом, оценка дополнительного расхода топлива, выполненная на основе статистических данных по распределению давления в шине показала, что в среднем он составляет около 2,7% от расхода топлива, который идет на движение автомобиля. Максимальный дополнительный расход топлива, соответствует отклонению давления от нормативного на 22% и достигает 9%. Удельный расход топлива на единицу объема выработанной продукции строительной машиной соответственно увеличится тоже.

## Список источников

1. Сычёв, А. В. Проблемы давления в шинах в России и за рубежом / А. В.Сычёв, И. М.Рябов // Ежегодная XVIII международная. Интернет – конференция молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения (МИКМУС-2006): тез. докл. конф., 27-29 дек. 2006 г. / Ин-т машиноведения им. А. А.Благонравова РАН [и др]. – М., 2006. – С. 24.

2. Муртузов М.М. Предпосылки и разработка математической модели процесса утечки воздуха из шины вследствие газопроницаемости ее материалов. Социально-экономическое развитие: вопросы теории и практики. Монография. г.Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2020. – с.130-142

3. Рябов, И. М. Технологии применения и получения азота для наполнения автомобильных шин. Т.1 / И. М. Рябов, А. В. Сычёв // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: матер. IV всерос. конф., г. Камышин, 18-20 окт. 2006 г. / КТИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. – Камышин, 2006

4. Рейтлингер, С. А. Проницаемость полимерных материалов / С. А. Рейтлингер. – М.: Химия, 1974. – 270 с.

5. Чернышов К.В. Изменение давления и концентрации кислорода в процессе диффузии воздуха из шины / К.В. Чернышов, И.М. Рябов, К.В., Т.Б. Залимханов, М.М. Муртузов // Грузовик. – М.: Машиностроение, 2011.- № 5. С. 9-17.

6. Sokolovskij E. Investigation of the wheel with road and its elements in the context of examination of traffic accidents of traffic accidents: Summary of Doctoral Dissertation (Technological Sciences, Transport Engineering) / E. Sokolovskij. – Vilnius: Technika. 2004. – 36 p.

7. Чернышов К.В. Математическое моделирование процесса диффузии воздуха из шины / К.В. Чернышов, И.М. Рябов, Ш.Д. Гечекбаев, М.М. Муртузов // Грузовик . – М.: Машиностроение, 2011. – № 11 . С. 14-18.

8. Чернышов К.В. Прогнозирование давления в шинах и рекомендации по периодичности их обслуживания с учетом условий эксплуатации/ К.В. Черны-

шов, И.М. Рябов, Ш.Д. Гечекбаев, М.М. Муртузов // Грузовик. – М.: Машиностроение, 2011. – № 12 .

9. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешск. В.Б. Иванова; Под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.Машиностроение, 1987. Сканобработка 2003.– 320 с.

10. Вахламов, В. К. Техника автомобильного транспорта: подвижной состав и эксплуатационные свойства / В. К. Вахламов. – М.: Академия, 2004. –521 с.

11. Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств: РД 3112199-1085-02. – М.: Москва, 2003. – 32 с.

12. Гудков, В. А. Обоснование необходимости постоянного контроля давления в шинах автомобиля / В. А. Гудков, И. М. Рябов, А. В. Сычев // Шина Плюс. – 2007. – № 2. – С. 2-4.

УДК 664.931.3

# ГЛАВА 3. СЕНСОРНАЯ ОЦЕНКА МЯСНЫХ КОНСЕРВОВ ПРИ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БАЛЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ПРОФИЛЬНО-ДЕСКРИПТОРНОГО АНАЛИЗА

**Гурьева К. Б.,**
к.т.н.,
**Солдатова С.Ю.**
к.т.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва (ФГБУ НИИПХ Росрезерва), г. Москва

**Аннотация:** Приведен алгоритм разработки балльной системы сенсорной оценки для мясных консервов по пятибалльной шкале с учетом коэффициентов весомости. Процесс разработки балльной шкалы состоит из нескольких этапов: выбор номенклатуры единичных показателей, характеризующих органолептические свойства продуктов, составление схем-таблиц, содержащих словесную характеристику каждого показателя по всем качественным уровням шкалы, установление экспертным путем коэффициентов весомости показателей, установление критериев для разных качественных уровней продукции, опробование шкалы на образцах продукции, расчет суммарных комплексных показателей и отнесение продукции к определенной категории качества. При практической апробации балльной оценки органолептических показателей мясных консервов был решен комплекс задач, объединивший описательные характеристики с наглядным профилем продукции. Применение разработанного метода балльной системы сенсорных показателей при хранении мясных консервов позволило объективно оценить потребительское качество и уровень качества, а также получить сравнительные результаты органолептических характеристик мясных консервов в разной упаковке. Применение профильно-дескрипторного анализа позволило выявить типичный характер ухудшения потребительских характеристик мясных консервов при воздействии высоких температур.

**Ключевые слова** мясные консервы, органолептические показатели, балльная шкала, коэффициенты весомости, органолептический профиль, категория качества, хранение, упаковка, профильно-дескрипторный анализ

**SENSORY ASSESSMENT OF CANNED MEAT DIURING STORAGE USING A POINT SYSTEM AND PROFILE-DISCRETIONARY ANALYSIS**

**Guryeva K. B.,**
**Soldatova S.Y.,**

**Abstract**: An algorithm for the development of a sensory evaluation point system for canned meat on a 5-point scale, taking into account the weighting coefficients, is presented. The process of developing a score scale consists of several stages: the selection of a nomenclature of individual indicators characterizing the organoleptic properties of products, the compilation of diagrams-tables containing a verbal description of each indicator at all qualitative levels of the scale, the establishment of expert weighting coefficients of indicators, the establishment of criteria for different qualitative levels of products, testing the scale on product samples, calculation of total complex indicators and the assignment of products to a certain quality category. During the practical testing of the scoring of organoleptic indicators of canned meat, a set of tasks was solved that combined descriptive characteristics with a visual product profile. The application of the developed method of the point system of sensory indicators during the storage of canned meat made it possible to objectively assess consumer quality and quality level, as well as to obtain comparative results of the organoleptic characteristics of canned meat in different packages. The use of profile-descriptor analysis made it possible to identify the typical nature of the deterioration of consumer characteristics of canned meat when exposed to high temperatures.
**Keywords**: canned meat, organoleptic indicators, point scale, weighting coefficients, organoleptic profile, quality category, storage, packaging, profile-descriptor analysis

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует множество приборов, с помощью которых исследуют физико-химические показатели, однако, органолептические показатели определяют традиционным методом – дегустацией. Органолептические (сенсорные) показатели характеризуют потребительские характеристики, поэтому их изменение позволяет сделать вывод о качестве продукта, не прибегая к физико-химическим исследованиям.

Научно организованный органолептический анализ по чувствительности превосходит многие лабораторные исследования, особенно таких показателей как вкус, запах, консистенция.

Органолептическая оценка мясных продуктов является обобщенным показателем, отражающим на потребительском уровне весь комплекс состояния белковой и жировой фракций. Изменение сенсорных свойств мясных консервов в процессе хранения вызвано суммарным воздействием большого числа биохимических процессов, не только изменениями липидного и белкового комплексов, но и взаимодействием компонентов друг с другом. В зависимости от продолжительности и температуры хранения возможно ухудшение вкуса и аромата продукта, снижение пищевой ценности, мясо может становиться сухим, волокнистым.

Особое значение объективная оценка сенсорных показателей консервированной продукции приобретает при установлении сроков годности. Для исследования кинетики процессов, протекающих при хранении, необходимы параметры, объективно численно определяемые в любой стадии эксперимента. В литературе описаны различные подходы решения этой проблемы путем усовершенствования методов формализации органолептической оценки продукта или замены сенсорного показателя другим параметром, коррелирующим с ним [1-2].

### *Метод балловых шкал и его применение в объективной оценке органолептических характеристик продукции*

Использование научно обоснованных балловых шкал для дегустационного анализа на современном уровне является инновационным. Балловая шкала включает словесное определение уровня качества каждого сенсорного показателя в зависимости от его интенсивности и желательности в данном продукте, позволяя систематизировать многообразие вкусовых ощущений. При этом продукт оценивают не только по качественным показателям, но и количественно по интенсивности и желательности отдельных характеристик [1-4].

Балловая система является наиболее удобным методом количественной оценки качественных признаков продуктов, воспринимаемых сенсорно. Она позволяет объективно определять рейтинговую оценку продукции в целом, и/или ее ключевых сенсорных характеристик, что является основным преимуществом балльного органолептического анализа. В практике используют балловые шкалы для количественного выражения характеристики органолептических свойств продуктов. Например, 100-балльные шкалы применяют для сенсорной оценки твердых сычужных сыров, 30-балльные шкалы – для аттестации кондитерских и хлебобулочных изделий улучшенного качества, 10-балльные шкалы – для оценки качества вин [1-3].

Применение балльных систем позволяет проследить изменения, происходящие в органолептических показателях в период хранения, математически обсчитать полученные результаты, установить корреляционные связи с физико-химическими показателями.

При проведении исследований для мясных консервов нами разработана балловая система на основе пятибалльной шкалы, рекомендуемой ГОСТ 9959 и [4, 5]. Алгоритм разработки балловой системы состоял из нескольких этапов.

***На первом этапе*** *был* проведен отбор номенклатуры отдельных показателей качества для балльной шкалы, руководствуясь стандартом ГОСТ 32125. Выбрана следующая номенклатура сенсорных показателей: внешний вид консервов, внешний вид бульона, запах, вкус, консистенция мяса.

***На втором этапе*** проводили составление схем-таблиц, характеризующих уровни качества с привлечением профессионально компетентных экспертов и опытных сотрудников института, имеющих необходимые знания и опыт по товароведению и технологии мясной продукции. Для мясных стерилизованных консервов «Мясо тушеное» за основу были взяты характеристики отдельных показателей, а для балловой шкалы установлены скидки на дефекты, отмеченные и выявленные при проведении исследований. Экспертами были разработаны схемы-таблицы с подробной словесной характеристикой уровней качества единичных показателей (таблица 1). Применение пятибалловой оценочной шкалы для мясных консервов предполагает следующее:

Оценка 5 баллов соответствует продукции без отклонений и обозначает высшую категорию качества. Органолептические показатели должны строго соответствовать требованиям нормативных и технических документов.

**Таблица 1**

**Балловая шкала оценки сенсорного уровня качества мясных консервов «Мясо тушеное»**

| Органолептические показатели | Характеристика показателя (ГОСТ 32125) | Характеристика по баллам | Оценка (балл) |
|---|---|---|---|
| Внешний вид | В разогретом состоянии – мясо кусочками произвольной формы массой не менее 30 г, без грубой соединительной ткани, крупных кровеносных сосудов и лимфатических узлов. При извлечении из банки кусочки сохраняют свою форму, возможно частичное распадание кусочков. Кусочки массой менее 30 г составляют не более 10 % общей массы мяса | нет отклонений | 5 |
| | | - наличие незначительного количества мягкой межмышечной соединительной ткани | 4 |
| | | -мясо в виде спрессованной массы с легко разделяемыми кусочками;<br>- наличие мягкой межмышечной соединительной ткани | 3 |
| | | - мясо в виде спрессованной фаршеобразной массы;<br>- наличие грубой соединительной ткани, крупных кровеносных сосудов и лимфатических узлов;<br>- кусочки массой менее 30 г составляют более 10 % общей массы мяса | 2 или 1 |
| Внешний вид бульона | В нагретом состоянии цвет от желтоватого до светло-коричневого, с наличием взвешенных белковых веществ в виде хлопьев. Допускается незначительная мутноватость бульона | нет отклонений | 5 |
| | | -коричневатый цвет | 4 |
| | | - коричневый цвет;<br>- мутноватый бульон | 3 |
| | | - темно-коричневый цвет;<br>- наличие белковых веществ в виде большого осадка;<br>- мутный бульон | 2 или 1 |
| Запах | Свойственный тушеному мясу с пряностями, без постороннего запаха | нет отклонений | 5 |
| | | - ослабленный запах пряностей | 4 |
| | | - ослабленный запах мяса и пряностей | 3 |
| | | - несвойственный тушеному мясу с пряностями;<br>- наличие постороннего запаха (кислоты, кормов, порчи и др.) | 2 или 1 |
| Вкус | Свойственный тушеному мясу с пряностями, без постороннего привкуса | нет отклонений | 5 |
| | | - недостаточно выраженный вкус тушеного мяса | 4 |
| | | - слабо выраженный (ослабленный) вкус тушеного мяса | 3 |
| | | - несвойственный тушеному мясу с пряностями;<br>- наличие постороннего привкуса (кислоты, горечи, кормов, порчи, сои и прочее) | 2 или 1 |
| Консистенция мяса | Мясо сочное, непереваренное | нет отклонений | 5 |
| | | - мясо недостаточно сочное;<br>- мясо жестковатое | 4 |
| | | - мясо суховатое;<br>- мясо жесткое или немного размягченное | 3 |
| | | - мясо сухое, переваренное | 2 или 1 |
| Посторонние примеси | Отсутствие | нет отклонений | 5 |
| | | наличие | 2 или 1 |

Оценка 4 балла соответствует продукции с минимальными отклонениями, незначительными или легкоустранимыми недостатками и обозначает хорошую категорию качества.

Оценка 3 балла соответствует продукции с заметными отклонениями, с более выраженными недостатками. Категория качества – удовлетворительная.

Оценка 2 или 1 балл соответствует продуктам со значительными отклонениями и дефектами: наличием посторонних привкусов или запахов. Категория качества – неудовлетворительная.

***Третий этап*** предполагал *установление* коэффициентов весомости/значимости показателей качеств, которые выражают долевое участие признака в формировании сенсорного качества продукта. Они являются количественными характеристиками для показателей и служат множителями при расчете обобщенных балловых оценок. Присутствие коэффициентов весомости необходимо в связи с различной значимостью единичных показателей в общем вкусовом восприятии потребительского качества продукции.

Процедура назначения коэффициентов весомости/значимости проводилась экспертным методом индивидуального опроса, сопоставлением значимости единичных показателей, ранжированием, оцениванием и последовательным сравнением. При этом в расчет были приняты основные показатели, наиболее полно отражающие основное назначение мясных консервов. Учтено, что наиболее важными для пищевых продуктов являются вкус, запах, консистенция. Также были учтены рекомендации традиционного распределения баллов в шкалах, нашедших практическое применение в действующей нормативной и технической документации. Согласно рекомендациям, сумма коэффициентов весомости была принята равной 20, чтобы пятибалловые шкалы при любом количестве показателей трансформировались в 100-балльные, при этом комплексные показатели можно воспринимать в процентах от оптимального качества (эталона).

Эксперты–специалисты института, работая индивидуально, ранжировали показатели по значимости, заполнили листок опроса мнений и назначили коэффициенты весомости. Результаты экспертной оценки были обобщены расчетным путем. Усредненные значения коэффициентов весомости органолептических показателей для мясных консервов «Мясо тушеное» составили: внешний вид консервов - 4,2, внешний вид бульона - 2,6, запах – 4,5, вкус -5,5, консистенция – 3,2.

***Четвертый этап*** включал определение пограничных пределов значений единичных показателей и комплексного показателя (суммарного балла) для каждой категории качества в соответствии с градацией качественных уровней, установленной этими же экспертами. Мнения экспертов заносили в индивидуальные листы, а затем обобщали. Результирующие данные даны в таблице 2. Дифференцирование продуктов по категориям качества в зависимости от дегустационных оценок с учетом коэффициентов весомости показано в таблице 3.

**Таблица 2**

**Пограничные значения показателей для мясных консервов**

| Пограничные значения показателей | Консервы «Мясо тушеное» | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Внешний вид | Внешний вид бульона | Запах | Вкус | Консистенция | Суммарный балл |
| Максимальный балл с учетом коэффициента весомости | 21,0 | 13,0 | 22,5 | 27,5 | 16,0 | 100 |
| Минимальный балл с учетом коэффициента весомости | 12,6 | 7,8 | 13,5 | 16,5 | 9,6 | 60 |

**Таблица 3**

**Дифференцирование мясных консервов по качественным уровням в зависимости от оценок**

| Категория качества | | Средние оценки по единичным показателям без учета коэффициентов весомости, не ниже | Комплексный показатель *k* с учетом коэффициентов весомости, не ниже |
|---|---|---|---|
| Стандартная | Высшая (отличная) | 4.5 | 90 |
| | Первая (хорошая) | 4.0 | 80 |
| | Вторая (удовлетворительная) | 3.0 | 60 |
| Нестандартная | Пищевая неполноценная | 2.0 | 40 |

***Проведение органолептической оценки***

Подготовку дегустационного зала проводили с учетом основных требований ГОСТ ISO 8589 и ГОСТ 9959. Органолептический анализ проводили в соответствии с ГОСТ Р 53701. Дегустационную комиссию формировали в соответствии с ГОСТ ISO 8586 путем отбора дегустаторов с учетом их индивидуальной чувствительности и способности устанавливать специфические различия в цвете, вкусе, запахе, аромате и консистенции продовольственных товаров.

***Подготовка проб к органолептической оценке***

Для органолептической оценки пробы мясных консервов отбирали в соответствии с ГОСТ 8756.0 и оформляли актами отбора проб. Так как представляемые на дегустацию пробы по микробиологическим показателям должны соответствовать требованиям ТР ТС 034/2013, перед дегустациями проводили микробиологические испытания. Качество мясных консервов проверяли на соответствие ГОСТ 32125. Упаковку и маркировку консервов оценивали по

ГОСТ 13534. Внешний вид, герметичность и состояние внутренней поверхности упаковки определяли по ГОСТ 8756.18.

***Порядок проведения органолептической оценки мясных консервов***

Дегустации проводили в закрытом режиме. Пробы перед подачей на дегустацию кодировали цифрами. Присвоенные коды фиксировали в рабочем журнале до начала дегустации, маркировку (код) наносили на посуду и вносили в дегустационный лист.

Во время дегустации для нейтрализации вкуса между образцами подают черный чай с сахаром из расчета 5 г сахара и 0,25 г чая, пшеничный хлеб из расчета по 20 г на каждый образец на одного дегустатора.

Оценку мясных консервов проводят в разогретом виде. Консервы «Мясо тушеное» перед органолептическими испытаниями доводили до кулинарной готовности, после внешнего осмотра закрытую банку или упаковку погружали в кипящую воду на 20-30 мин в зависимости от размера банки (упаковки) и вида консервов. После разогрева банку консервов вскрывали, крышку отрезали не полностью, сливали бульон и жир в стакан из бесцветного стекла. Остальное содержимое банки извлекали на тарелку для определения консистенции, цвет мяса и жира. Показатели качества консервов определяли в последовательности, изложенной в ГОСТ 9959.

После проведения дегустации проводилась статистическая обработка индивидуальных оценок путем расчета комплексных показателей с учетом коэффициентов весомости, и дегустационные оценки качества продукции обобщались методом усреднения.

***Практическая апробация балловой системы***

Апробация балловой системы и расчет комплексного суммарного балла с учетом коэффициентов значимости проведены в подготовленном дегустационном зале. Коллектив из 7 экспертов-дегустаторов, используя пятибалловую шкалу о таблице 1, провел оценку единичных показателей качества образцов мясных консервов «Говядина тушеная высший сорт» разных изготовителей и в разной упаковке: в жестебанке (образец № 1), в банке из ламистера (образец № 2) и в реторт-пакете (образец № 3),.

Были получены следующие средние значения органолептических показателей образца № 1: внешний вид консервов - 4,4; внешний вид бульона − 4,0; запах − 4,5; вкус – 4,2; консистенция − 4,0.

Для образца № 1 комплексный суммарный балл равен:

4,4х4,2+4,0×2,6+4,5×4,5+4,2×5,5+4,0×3,2=18,5+10,4+20,3+23,1+12,8=85,0

Аналогично расчет проведен по другим образцам.

Для расчета данных, полученных на дегустациях, в институте разработана программа, позволяющая оперативно обрабатывать материал по каждому образцу и рассчитывать баллы с учетом коэффициентов весомости для каждого органолептического показателя и комплексный суммарный балл.

Средняя балльная оценка и оценка с учетом коэффициентов весомости органолептических показателей трех образцов мясных консервов приведены в

таблице 4. Исследованные образцы мясных консервов разных изготовителей и в разной упаковке соответствовали ГОСТ 32125 по органолептическим показателям. По шкале комплексного суммарного балла (таблица 3) проведена рейтинговая оценка: образец № 2 отнесен к высшей категории качества (отличная), образцы № 1 и № 3 отнесены к первой категории качества (хорошая).

**Таблица 4**

**Балловая оценка и оценка с учетом коэффициентов весомости органолептических показателей мясных консервов «Говядина тушеная в/с»**

| Показатель | Образец № 1 | | Образец № 2 | | Образец № 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | балл | балл с учетом коэф. весомости | балл | балл с учетом коэф. весомости | балл | балл с учетом коэф. весомости |
| внешний вид консервов | 4,4 | 18,5 | 4,9 | 20,6 | 4,2 | 17,6 |
| внешний вид бульона | 4,0 | 10,4 | 4,8 | 12,5 | 4,0 | 10,4 |
| запах | 4,5 | 20,3 | 4,9 | 22,1 | 4,2 | 18,9 |
| вкус | 4,2 | 23,1 | 5,0; | 27,5 | 4,3 | 23,6 |
| консистенция | 4,0 | 12,8 | 5,0. | 16 | 4,8 | 15,4 |
| суммарный балл | | 85,0 | - | 98,6 | - | 85,9 |

На основании полученных данных был составлен органолептический профиль испытанных образцов (рисунок 1) в соответствии с ГОСТ ISO 13299 и ГОСТ 33609. Также для анализа может быть применена методика работы [9], где приведены последовательность проведения и результаты сравнительной органолептической оценки мясных кусковых консервов на основе профильно-дескрипторного метода.

Согласно профилограмме лучшим из анализируемых образцов признан образец № 2, получивший самые высокие баллы. Характер органолептического профиля мясных консервов в сравнении с максимальными и минимальными оценками по каждому из определяемых показателей позволяет определить соответствие необходимым требованиям балльной системы. При сравнении органолептического профиля образца № 1 мясных консервов с максимальными и минимальными оценками получено (рисунок 2), что балльные оценки всех органолептических показателей находится выше балловых уровней минимальной оценки. Аналогичны профилограммы и для остальных образцов.

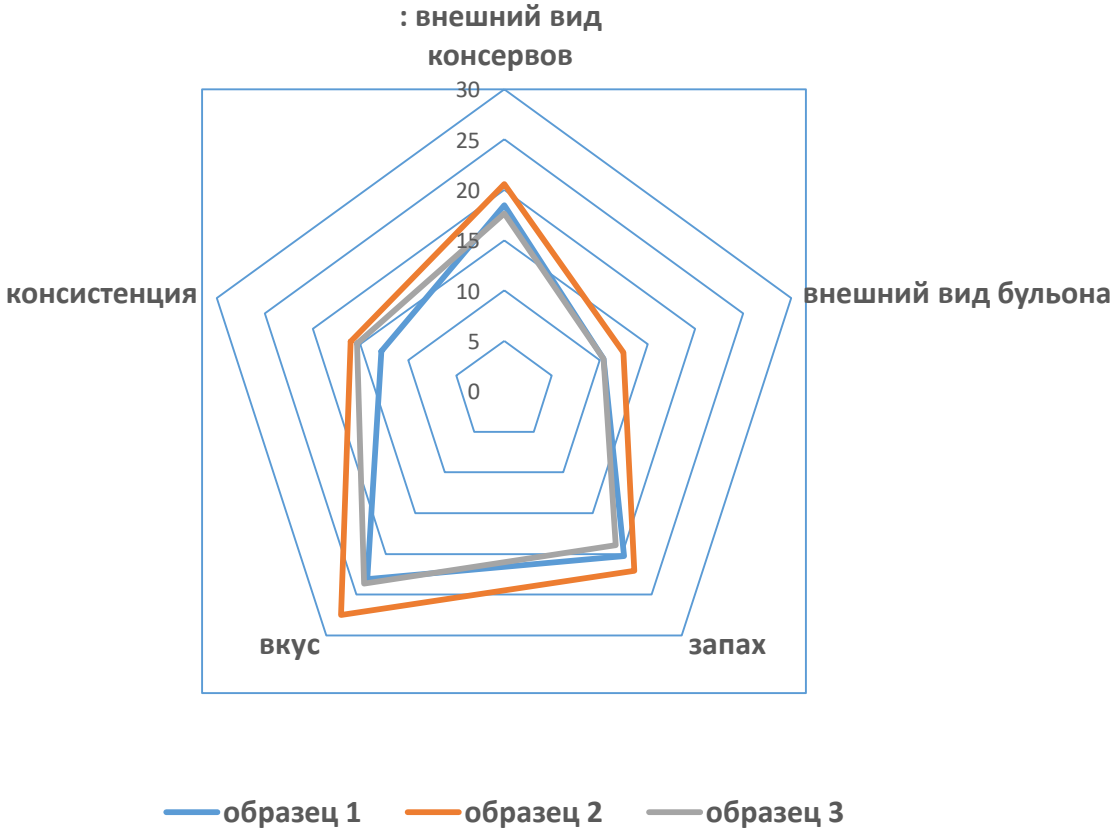



**Рис. 1. Сравнение органолептических вкусо-ароматических профилей трех образцов мясных консервов (с учетом коэффициентов весомости)**

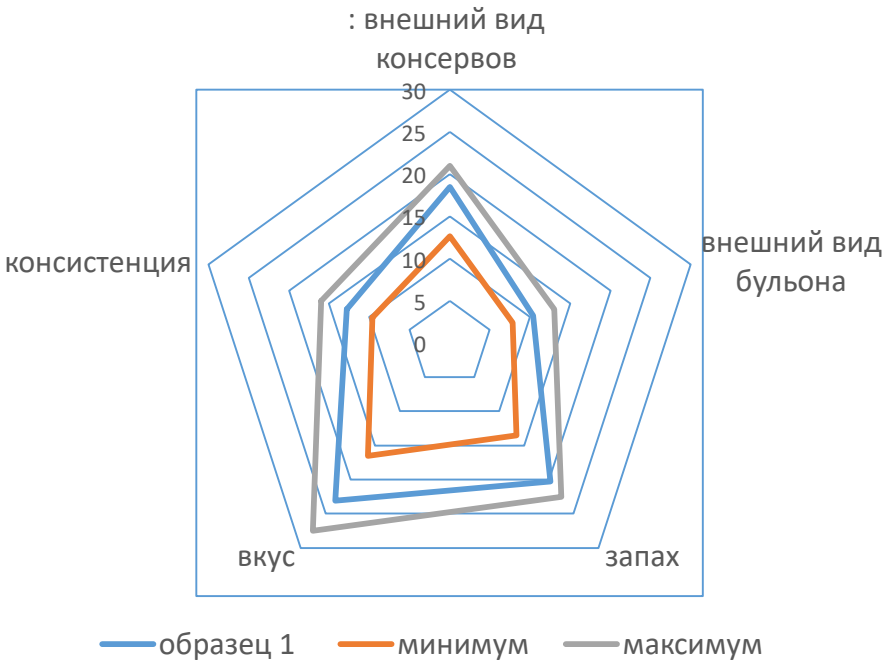



**Рис. 2. Органолептический профиль образца № 1 в сравнении с максимальными и минимальными оценками**

### *Применение балловой системы при хранении мясных консервов в банках из ламистера*

Разработанная балловая система при ее применении придает органолептической и потребительской оценке продукции объективность и точность, позволяет получить сравнительные результаты при длительном хранении, помогает определению сроков годности продукции. Так, по методам, установленным ГОСТ ISO 16779, возможно определение и верификация срока годности пищевой продукции путем органолептических испытаний.

Хранение мясных консервов в банках из ламистера проводили в отапливаемом складе при температурном режиме от 5 до 20 ºС. При оценке по стандарту было определено, что исследованные образцы мясных консервов в период хранения имели свойственный тушеной говядине с пряностями вкус и запах без посторонних запаха и привкуса. Применение балловой системы для оценки мясных консервов в ламистере показало изменение отдельных органолептических показателей. В таблице 5 даны балльные оценки. Исходные оценки отдельных показателей варьировали в пределах от 4,8 до 5,0 балла, продукция соответствовала требованиям стандарта.

Результаты ежеквартальных дегустационных экспертиз свидетельствовали о том, что к концу наблюдаемого срока хранения происходит некоторое снижение органолептической оценки консервов, выраженное в различной степени для отдельных показателей в пределах от 4,4 до 4,8 баллов. Такой же характер носило изменение органолептического профиля консервов за 37 месяцев хранения. Из рисунка 3 наглядно видно, что снижение балльной оценки произошло в основном за счет показателей вкус, запах и состояние бульона.

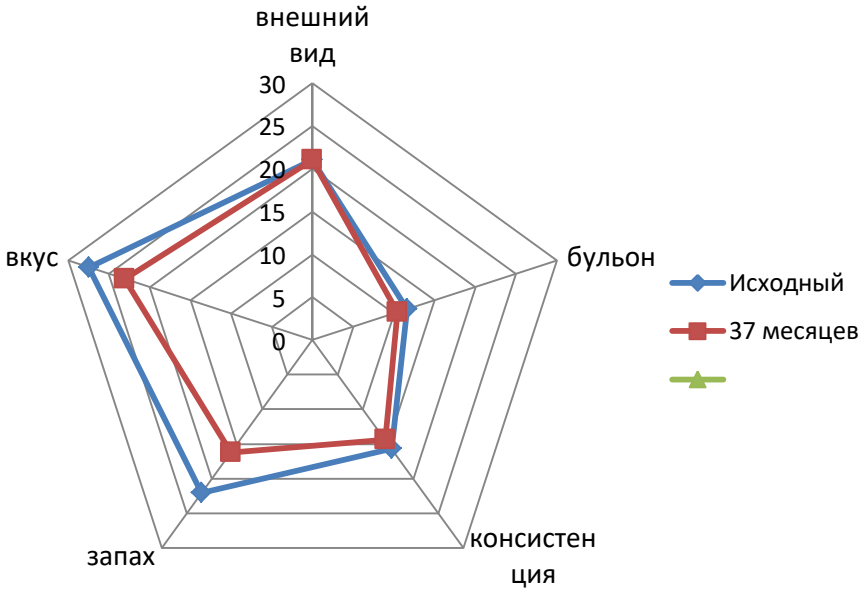



**Рис. 3. Изменение сенсорного профиля мясных консервов за 37 месяцев хранения**

Таблица 5

**Изменение органолептической балльной оценки мясных консервов в ламистере при хранении**

| № образца | Срок хранения, мес. | Средние баллы | | | | | с учетом коэффициента значимости | | | | | Общая сумма баллов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | внешний вид | бульон | консистенция | запах | вкус | внешний вид | бульон | консистенция | запах | вкус | |
| 158 | Исходный | 5,0 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 21,0 | 11,6 | 15,7 | 22,1 | 27,5 | 98,9 |
| 182 | 3 | 4,9 | 4,8 | 5,0 | 4,9 | 5,0 | 20,7 | 12,6 | 16,0 | 22,1 | 27,5 | 98,8 |
| 25 | 6 | 4,8 | 4,5 | 4,9 | 4,7 | 5,0 | 20,3 | 11,7 | 15,7 | 21,0 | 27,5 | 98,5 |
| 62 | 9 | 5,0 | 4,4 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 21,0 | 11,5 | 16,0 | 22,5 | 27,5 | 98,5 |
| 103 | 12 | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 19,3 | 11,9 | 14,9 | 21,4 | 26,6 | 94,1 |
| 167 | 15 | 4,6 | 4,4 | 4,7 | 4,6 | 4,8 | 19,2 | 11,3 | 15,1 | 20,9 | 26,3 | 92,8 |
| 32 | 18 | 5,0 | 4,4 | 4,7 | 4,7 | 5,0 | 21,0 | 11,3 | 15,1 | 21,2 | 27,5 | 96,1 |
| 106 | 21 | 5,0 | 4,5 | 4,8 | 4,7 | 4,8 | 21,0 | 11,7 | 15,5 | 21,0 | 26,6 | 95,8 |
| 179 | 23 | 5,0 | 4,4 | 5,0 | 4,8 | 5,0 | 21,0 | 11,5 | 16,0 | 21,4 | 27,5 | 97,4 |
| 220 | 24 | 4,8 | 4,4 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 20,3 | 11,5 | 15,5 | 21,8 | 27,0 | 96,0 |
| 5 | 29 . | 4,6 | 3,4 | 4,4 | 4,8 | 4,4 | 19,3 | 8,8 | 14,1 | 21,6 | 24,2 | 88,0 |
| 46 | 32 | 4,8 | 3,4 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 20,2 | 8,8 | 13,4 | 19,8 | 25,3 | 87,5 |
| 76 | 37 | 5,0 | 4,0 | 4,5 | 3,6 | 4,2 | 21 | 10,4 | 14,4 | 16,2 | 23,1 | 85,1 |

МОНОГРАФИЯ | WWW.NAUKAIP.RU

Суммарная балльная оценка, рассчитанная с учетом коэффициентов значимости, снизилась за 24 месяца хранения незначительно (с 98,9 до 96 баллов) и находилась на уровне отличного качества.

Результаты дегустационных экспертиз на последующих этапах свидетельствуют о том, что после 29, 32 и 37 месяцев хранения у образца №2 произошло снижение органолептической оценки по показателю «внешний вид бульона» (средняя балльная оценка 3,4 балла). Остальные показатели (вкус, запах, консистенция) были на уровне хорошего качества (4,4 - 4,8 баллов). Суммарная балльная оценка за 37 месяцев хранения снизилась с 98,9 до 85,1 балла, но находилась на уровне хорошего качества. На основании результатов применения балловой системы можно заключить, что мясные консервы в банках из ламистера характеризуются высокой стабильностью органолептических свойств: в пределах наблюдаемого срока произошло минимальное ухудшение сенсорных показателей. На основе органолептических испытаний подтвержден гарантийный срок годности мясных консервов в банках из ламистера, и установлено, что консервы имеют запас качества по сенсорным показателям.

### *Применение профильно-дескрипторного анализа для органолептической оценки мясных консервов при хранении*

Для комплексной оценки консервов при хранении также применен дескрипторно-профильный метод, который позволяет определить за счет каких органолептических признаков и отличительных свойств продукта изменяется балловая оценка. Для этого предварительно выбирают описательные характеристики дескрипторов для признаков-свойств (аромата, вкуса, консистенции и других). Метод подразумевает словесное описание и количественное выражение органолептических признаков, оцениваемых в баллах и графически расположенных на схеме.

Этот метод сенсорного анализа широко применяется для оценки пищевых продуктов [6-8], а также для мясной продукции [9-11]. Определение дескрипторов для каждого органолептического показателя консервов проведено нами с учетом ГОСТ 33609 и ГОСТ 34160. За базовые признаки приняты дескрипторы и эталонный профиль сенсорных свойств мясных консервов «Говядина тушеная высший сорт», изложенные в статье [9]. Учитывая возможные изменения, происходящие в сенсорных показателях в процессе хранения, разработан специальный словарь дескрипторов для продукции мясных консервов длительного хранения (таблица 6) и шкала выраженности дескрипторов (таблица 7).

В словаре дескрипторов отражены положительные и отрицательные дескрипторы мясных консервов, так как в период хранения возможно появление негативных оценок. Сенсорные профили мясных консервов по выбранным дескрипторам при хранении даны на рисунке 4.

**Таблица 6**

**Словарь дескрипторов мясных консервов для продукции длительного хранения**

| Показатели | Положительные дескрипторы | Отрицательные дескрипторы |
|---|---|---|
| Внешний вид консервов | Характерный цвет мяса снаружи кусочков | Темный цвет мяса |
| | Характерный цвет мяса кусочков на разрезе | Несвойственный внешний вид (в виде фарша) |
| | Привлекательный | Большое количество мелких кусочков |
| | | Грубая соедини-тельная ткань |
| | | Костные включения |
| Запах | Характерный запах мяса говядины | Посторонний запах |
| | Запах специй (лук, лавровый лист) | Невыраженный запах |
| | | Окисленный запах |
| Вкус | Характерный вкус мяса говядины | Посторонний вкус |
| | Приятное послевкусие | Невыраженный вкус |
| | | Окисленный привкус |
| | | Горький или кислый привкус |
| | | Соленый вкус |
| | | Металлический привкус |
| Бульон и расплавленный жир | Прозрачный | Мутный |
| | Светлый цвет (желтый) бульона | Темный бульона (коричневый) |
| | Светлый цвет (желтый) жира | Наличие осадка в бульоне |
| | | Темный цвет расплавленного жира |
| | | Окисленный запах и вкус |
| | | Металлический запах и вкус |
| Консистенция мяса | Сочная | Плотная (твердая, жесткая) |
| | Нежная | Волокнистая |
| | | Рыхлая, размягченная |
| | | Сухая |

**Таблица 7**

**Шкала выраженности дескрипторов**

| Выраженность признака | Не воспринимается | Слабый | Довольно слабый | Средний | Довольно сильный | Сильный |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Дескриптор | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

**Рис. 4. Сенсорные профили мясных консервов при хранении**

Анализируя полученные данные по применению специального словаря дескрипторов для продукции мясных консервов, можно сказать, что в начале хранения были отмечены высокие уровни положительных дескрипторов (характерный вкус и запах мяса, прозрачный бульон, сочная консистенция). Такое качества сохранялось в течение гарантийного срока годности при хранении в условиях температуры ниже 20 ºС. При экстремальных обстоятельствах под воздействием повышенных температур (35-55 ºС) себя проявляют отрицательные признаки: мясо становится сухим, жилистым, волокнистым. Эти изменения обуславливаются потерей способности белков мяса связывать воду, отделением и эмульгированием жира, распадом соединительной ткани. При этом ухудшается вкус и аромат продукта, появляется окисленный привкус и запах в мясе и бульоне, снижается пищевая ценность в зависимости от продолжительности и температуры хранения. Отрицательные дескрипторы вкуса и запаха (признаки окисленного жира, невыраженный вкус, окисленный запах, окисленный бульон) и консистенции (сухая, плотная, твердая или размягченная) после хранения имели высокие оценки по шкале выраженности, но отсутствовали в начальный период хранения, что свидетельствует об ухудшении качества. Снижение потребительского качества также проявлялось в наличии отрицательных дескрипторов - темный цвет мяса, мутный и потемневший бульон. Появления таких негативных дескрипторов как горький, кислый, металлический привкус не было выявлено. Признаки окисления жира во вкусе и запахе особенно быстро проявлялись при температуре 55 ºС.

Таким образом, дескрипторно-профильный метод позволил сформировать наглядную модель изменения качественных характеристик мясных консервов при хранении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработана пятибалльная шкала с учетом коэффициентов весомости для мясных консервов.

Представлены результаты апробирования разработанной методики на образцах мясных консервов, рассчитаны комплексные суммарные показатели и оценка категории качества. При практической апробации был решен комплекс задач для объединения описательных характеристик с наглядным профилем продукции.

Применение разработанного метода позволило объективно оценить потребительское качество и уровень качества, а также получить сравнительные результаты органолептических характеристик мясных консервов в разных видах упаковки.

Учитывая возможные изменения сенсорных показателей в процессе хранения, разработан словарь дескрипторов для мясных консервов и шкала выраженности дескрипторов. В словаре дескрипторов отражены положительные и отрицательные характеристики сенсорных показателей. Применение профильно-дескрипторного анализа позволило выявить типичный характер ухудшения потребительских характеристик мясных консервов при воздействии повышенных температур.

Разработанная балловая система и дескрипторно-профильный метод могут применяться для рейтинговой оценки потребительских характеристик мясных консервов в технологическом контроле качества в период изготовления, при проведении научных исследований при приемке на хранение и в процессе длительного хранения.

**Использованные нормативные документы:**

ТР ТС 034/2013. Технический регламент таможенного союза. «О безопасности мяса и мясной продукции».

ГОСТ 8756.0-70 Продукты пищевые консервированные Отбор проб и подготовка их к испытанию.

ГОСТ 8756.18-2017 Консервы. Методы определения внешнего вида, герметичности и состояния внутренней поверхности упаковки.

ГОСТ 9959-2015 Мясо и мясные продукты Общие условия проведения органолептической оценки.

ГОСТ 13534-2015 Консервы мясные и мясосодержащие. Упаковка, маркировка и транспортирование.

ГОСТ 32125-2013 Консервы мясные . Мясо тушеное Технические условия.

ГОСТ ISO 8586-2015 Органолептический анализ. Общие руководящие указания по отбору, обучению и контролю за работой отобранных испытателей и

экспертов-испытателей.

ГОСТ ISO 8589-2014 Органолептический анализ. Руководство по проектированию помещений для исследования.

ГОСТ ISO 13299-2015 Органолептический анализ. Методология. Общее Руководство по составлению органолептического профиля.

ГОСТ ISO 16779-2017 Органолептический анализ. Оценка (определение и верификация) срока годности пищевой продукции

ГОСТ 33609-2015 Мясо и мясные продукты. Органолептический анализ. Идентификация и выбор дескрипторов для установления органолептических свойств при многостороннем подходе.

ГОСТ 34160-2017 Мясо и мясные продукты. Органолептический анализ. Метод профильно-дескрипторного анализа флейвора мясных продуктов

ГОСТ Р 53701—2021 Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 в лабораториях, применяющих органолептический анализ.

**Список источников**

1. Кантере В.М., Матисон В.А., Фоменко М.А. Сенсорный анализ продуктов питания: Монография. – М.:РАСХН, 2003. – 400с.
2. Родина Т.Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров: учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 208 с.
3. Вытовтов А.А. Теоретические и практические основы органолептического анализа продуктов питания: учебное пособие/ – СПб.: ГИОРД, 2010. – 232с.
4. Гурьева К.Б., Тюгай О.А., Иванова Е.В. «Применение балльной системы для сенсорной оценки качества мясной продукции при хранении» / «Товаровед», № 3, 2013, с. 34-39
5. Кузнецова Т.Г.; Крылова В.Б.; Густова Т.В. Органолептическая оценка консервов, инструменты и результаты/ Контроль качества продукции. 2016. № 1. С.35-40.
6. Матисон В.А., Арутюнова Н.И., Горячева Е.Д. Применение дескрипторно-профильного метода для оценки качества продуктов питания / Пищевая промышленность. 2015, № 6, С. 52-55
7. О.Ф. Фазуллина, С.О. Смирнов Применение дескрипторно-профильного метода для оценки качества обогащенных макаронных изделий / Вестник ЮУрГУ Серия Пищевые и биотехнология. 2020. Т.8. № 4. С.53-56.
8. Н.Е. Посокина, О.В.Бессараб, О.В. Карастоянова, Н.В. Коровкина . Разработка словаря дескрипторов для органолептического анализа грибов. Вестник КасГАУ . 2022. № 10. С.185-206.
9. Кузнецова Т.Г., Крылова В.Б., Густова Т.В. Разработка словаря для создания профиля сенсорных свойств мясных кусковых консервов / Все о мясе 2016. № 6. С.26-29

10. Кузнецова Т.Г.; Крылова В.Б.; Лазарев А.А.; Густова Т.В. Сравнительная оценка органолептических свойств консервов "Говядина тушеная высший сорт" разных производителей на основе профильно-дескрипторного анализа /Все о мясе. 2017. N 6. - С. 37-39

11. Гурьева К.Б., Солдатова С.Ю. Применение балльной системы и профильно-дискретного анализа для органолептической оценки мясных консервов при хранении / Сборник докладов V Международной научно-практической конференции, Курск, 21-23 июня 2023 г ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2023.с.401-406

УДК 004

# ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ: МНОГО ПРОТОКОЛОВ, МНОГО ДАТЧИКОВ, МНОГО IIOT

**Алексеев Александр Валерьевич**
инженер
Общество с Ограниченной Ответственностью РТ-РАЗВИТИЕ

**Аннотация:** Предложен вариант решения для организации информационного обмена для гетерогенных протоколов и транспортных шин. Так же решается вопрос взаимодействия между компонентами автоматизированной системы управления.
**Ключевые слова:** Протокол передачи данных, единое промышленное информационное пространство, автоматизированные системы управления, Индустрия 4.0, цифровой слой, цифровая копия технологического процесса.

**INTEGRATION PROBLEMS: MANY PROTOCOLS, MANY SENSORS, MANY IIOT**

**Alekseev A.V.**

**Abstract:** A solution for organizing information exchange for heterogeneous protocols and transport buses is proposed. The issue of interaction between the components of an automated control system is also being solved.
**Keywords:** Data transmission protocol, unified industrial information space, automated control systems, databases, predictive analysis, Industry 4.0, digital layer, digital copy of the technological process.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются компании в процессе перехода к новым технологиям, является возможность интеграции различных протоколов и устройств в единое информационное поле, в одну экосистему. Так же эта задача часто возникает на объектах при пусконаладочных работах, при вопросах интеграции оборудования различных производителей.

Как факт, имеем кучу головной боли море самых разнообразных вопросов.

В идеале нужен стандарт на интеграцию различных устройств в одну универсальную цифровую магистраль.

До некоторых пор все было неплохо, проблемы интеграции не возникали каждый день и по многу и решались своими силами по мере возможностей, но грянул гром прогресса и рост приобретаемых и применяемых устройств, датчиков, станков и прочего оборудования стремительно вырос. Учитывая также желание строить умные заводы и фабрики будущего эта проблема становится еще острее.

**Что такое Industrie 4.0**

В 2011 г. на компьютерной выставке в Ганновере (Германия) была выдвинута инициатива «Индустрия 4.0», получившая впоследствии широкое международное распространение благодаря книге Клауса Шваба. Переход на полностью автоматизированное цифровое производство на базе кибер-физических систем, замещение работника роботами и интеллектуальными системами, выходящими за границы предприятия, казалось, должны были обеспечить через «Индустрию 4.0» полное благополучие человечества. Но прошло всего шесть лет и в Ганновере в 2017 г. появилась концепция «Индустрия 5.0». Скорости развития этого направления просто поражают и как успеть предприятиям шагать в ногу со временем тоже отдельный вопрос.

Кратко напомню основные моменты. Основу производства, согласно немецкой концепции Industrie 4.0, образуют киберфизические системы (Cyber-Physical System, CPS), состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В CPS обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами.

Рассмотрим основные этапы необходимые для реализации индустрии 4.0.

Этапы развития предприятия на пути к Industrie 4.0

1. Компьютеризация (Computerization)
2. Сетевое взаимодействие (Connectivity)
3. Обозримость (Visibility)
4. Прозрачность (Transparency)
5. Прогнозирование (Predictive capacity)
6. Адаптивность (Adaptability)

Ключевым моментом в Industrie 4.0 является создание инфраструктуры, имеющей в основе три типа интеграции:

Горизонтальная интеграция структурной модели бизнеса (value networks);

Сквозная цифровая интеграция производственных процессов (digital integration of engineering) по всей структурной модели бизнеса;

Вертикальная интеграция внутренней производственной цепочке предприятия (networked manufacturing).

Если мы внимательно посмотрим на вышеизложенное, то поймем что проблема обозначенная ранее находится во втором пункте - сетевое взаимодействие. Без системного решения этого вопроса дальше сложно выстроить адекватную систему.

Каким образом удалось решить задачу построения универсальной шины предприятия.

В настоящее время имеется множество аппаратных шин и протоколов, которые несовместимы между собой как аппаратно, так и программно. Таким образом создание систем, использующих более одного из этих протоколов затруднено необходимостью программной реализации интерфейсов ко всем используемым протоколам.

Для того, чтобы облегчить задачу взаимодействия с различными протоколами, создается универсальный протокол для автоматизации промышленности, с помощью которого будет возможна интеграция многих программно-аппаратных протоколов в одну гомогенную информационную систему, предоставляющую унифицированный доступ к устройствам с разнообразными интерфейсами. Это позволит строить аналитические системы, прогнозные системы что является частью индустрии 4.0. Также становится возможным создание цифрового слоя технологического процесса на предприятии или процесса управления для самоходного оборудования или системы управления. Протокол должен быть событийно-ориентированным и реализовываться на базе локальной сети ethernet и стека протоколов TCP/IP.

Протокол для автоматизации промышленности является событийно-ориентированным. Это значит, что протокол передает информацию только об изменениях в данных программного комплекса. Основной единицей протокола является сигнал. Сигналом называется именованный канал, в рамках которого передаются данные об изменении одного элемента программно-аппаратного комплекса. Разработанный протокол состоит из посылок, в рамках которых могут передаваться один или более пакетов. Пакеты разделяются на два типа — запросы (request) и ответы (response). Пакет запроса несёт в себе идентификатор пакета, метку команды, список спецификаций сигналов, и (необязательно) данные. Пакет ответа несёт в себе идентификатор пакета запроса, на который отправляется ответ, список сигналов (необязательно), и данные (необязательно). В протоколе реализованы три варианта команд: 1. команда чтения (READ) 2. команда записи (WRITE) 3. команда обновления (UPDATE) Команда чтения позволяет подключившемуся клиенту запросить список сигналов и прочитать их текущие значения. Команда записи отправляет запрос на запись в сигнал определённого нового значения. При наличии сервиса, обслуживающего этот сигнал на запись, ему отправляется новое значение, при этом сервис оперирует с оборудованием, записывая новое значение. Команда обновления оповещает систему об обновлении значения в аппаратном слое. Сервис, обслуживающий оборудование, опрашивает аппаратную часть, и при изменении значения посылает команду обновления привязанного сигнала.

Основными сущностями протокола являются пакет и команда (или ответ). Пакет может содержать одну или несколько команд или ответов (в дальнейшем просто «команд»). В рамках данного документа назовём сторону, которая высылает (инициирует) команду «инициатором», а сторону, которая получает команду будем называть «получателем». Все целые числа внутри протокола передаются в сетевом порядке байтов (big endian). Каждая из команд имеет идентификатор, который должен быть уникальным для инициатора команды в рамках разумного времени для избежания повторения исполнения команды (время уникальности идентификатора команды). Для надёжности это время не должно быть менее 300 секунд. В ответ на каждую высланную инициирующей стороной команду получающая сторона должна выслать ответ, содержащий иденти-

фикатор полученной команды. Если ответ не получен в течение установленного времени после отсылки команды, команда повторяется. В свою очередь, принимающая сторона должна игнорировать команды от инициирующей стороны, которые имеют повторяющийся идентификатор команды в рамках заданного времени уникальности идентификатора команды. Такие команды с неуникальным идентификатором команды не должны выполняться получателем, но при этом получатель должен выслать ответ на такую команду.

Разработанное ПО для автоматизации промышленности имеет клиент-серверную архитектуру. Сервер выполняет функции агрегатора и маршрутизатора оперативных данных. Сервер работает по транспортному протоколу TCP/IP.

Клиенты разработанного ПО могут выполнять одну из нескольких функций:

1. Провайдер данных;
2. Сервис управления;
3. Сервис сохранения (анализа) данных.

Провайдеры данных занимаются поставкой и обновлением данных в системе. Провайдер данных может выполнять функции адаптера аппаратных интерфейсов, например, адаптера шины modbus, can, spi, проприетарных интерфейсов, а также других аппаратных шин. Точно так же провайдер данных может эмулировать поставку данных с этих интерфейсов для программной отладки комплекса без подключения аппаратной части. На этом моменте я бы остановился чуть подробнее, поскольку эта функциональная возможность позволяет осуществлять проектирование, разработку и моделирование без наличия аппаратной части у разработчика. Сервис управления анализирует данные и выдает команды на изменение и запись сигналов для управления аппаратной частью программно-аппаратного комплекса. Сервисы сохранения и анализа данных являются потребителями и осуществляют сбор и анализ данных, а также сохранение в постоянное хранилище для последующего использования.

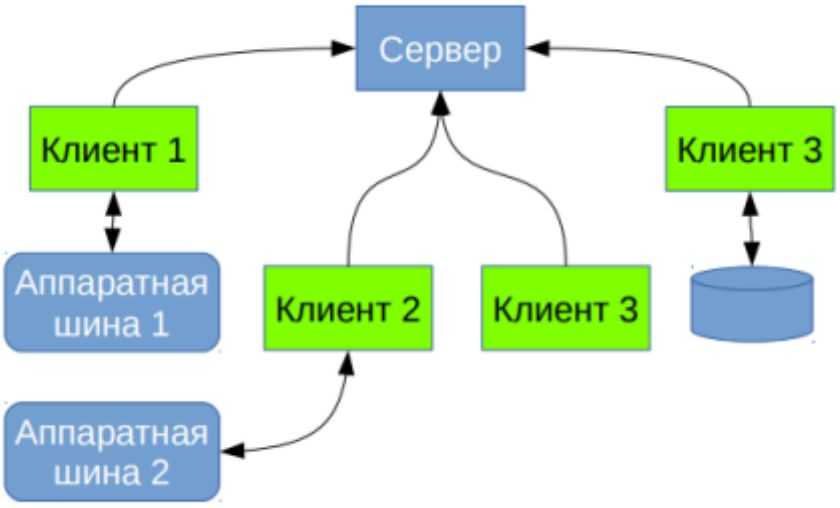



**Рис. 1. Структурная схема разработанного ПО**

Структура разработанного ПО показана на рис. 1. На рисунке показаны основные элементы и примеры подключения системы к аппаратным шинам.

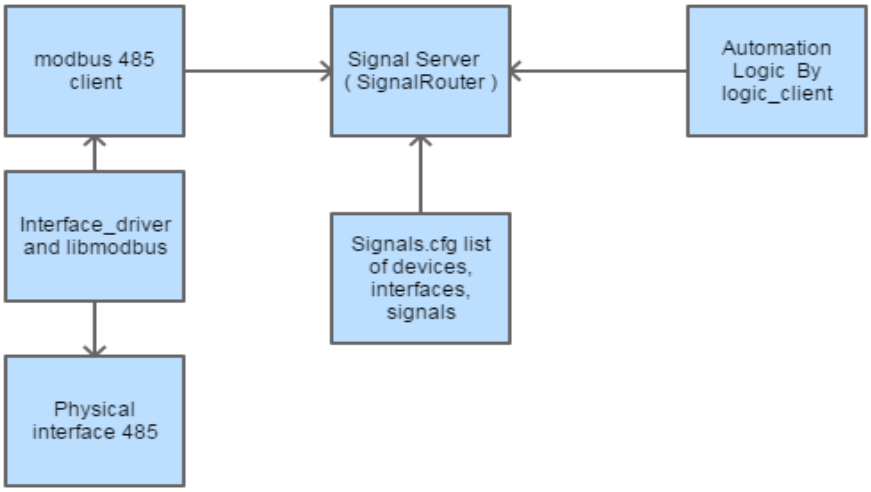



**Рис. 2. Описание логической структуры**

Разработанное программное обеспечение представляет собой клиент серверное решение, предназначенное для согласования различных протоколов, сбора данных, управления и мониторинга.

Набор модулей шлюзов позволяет гибко адаптировать созданную платформу практически под любые существующие протоколы и их сочетания.

Благодаря модульности решения достигается возможность масштабирования а также адаптации системы под вновь созданные протоколы и нестандартные решения.

## Примеры внедрения

Разработка, представляет из себя уникальный протокол и ПО, позволяющий легко создавать единую экосистему IoT и IIoT. По проведенным испытаниям разработанный протокол и ПО, позволяют решить проблему разрозненности оборудования от разных производителей и разных стандартов обмена данными. Областью применения разработанного решения является автоматизация промышленности.

Потенциальными потребителями могут быть промышленные предприятия следующих отраслей: тяжелая промышленность, машиностроение, пищевая промышленность, химическая промышленность, а также других отраслей.

Предложенное решение хорошо зарекомендовало себя на тестах в роботизированных самоходных устройствах, и в области создания логики управления дронами.

На базе разработанного решения ПО и протокола могут быть построены панели для визуализации данных и управления, мониторинговые центры, операторские пульты.

На фото ниже представлены примеры внедрения.

**Фото 1. Дизельный монорельсовый тягач производства Завода Инновационного машиностроения город Новокузнецк**

**Фото 2. Комбайн проходческий КСП-35 предназначен для механизированного разрушения забоя и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок**

**Фото 3. Вагоны пневмоколесные самоходные грузовые В17К-02, производство Копейский машиностроительный завод.**

## ВЫВОДЫ

Разработанное решение показало свою применимость в вопросе формирования универсальных цифровых шин. Прошло практическое подтверждение.

Но вопрос стандартизации такого понятия как универсальная цифровая шина и универсальная цифровая шина предприятия остается открытым.

Переоценить достоинства введения стандарта на универсальные цифровые шины уровня предприятия довольно сложно. Поскольку создание фабрик будущего на базе индустрии 4.0 позволяет превратить всю национальную экономику в единую кибер физическую систему, объединенную государственным управлением. На государство здесь возлагаются координирующие задачи, связанные со стандартизацией. Учитывая, что движение по направлению к Industrie 4.0 будет иметь эволюционный характер, а существующие технологии будут постепенно адаптироваться к инновационным решениям и рынкам.

## Список источников

1. Bryan Boyd et al. Building Real-time Mobile Solutions with MQTT and IBM MessageSight. IBM Redbooks, 2014

2. Jeff Mesnil. Mobile and Web Messaging. O’Reilly Media, Inc., 2014 ISBN 978-1-4919-4480-6 — II. MQTT

3. http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf

4. ГОСТ Р 58603-2019 (ИСО/МЭК 20922:2016) Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей. Протокол организации очередей доставки телеметрических сообщений MQTT. Версия 3.1.1

5. ПНСТ 438-2020 (ИСО/МЭК 30141:2018) Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей. Типовая архитектура

6. Материалы из интернет ресурса посвященного IoT в России “Промышленность стандарты и протоколы” https://iot.ru/promyshlennost/standarty-protokoly-i-tekhnologii-svyazi-dlya-podklyucheniya-iot-ustroystv

7. Боровков, А.И. Перспективные направления развития передовых производственных технологий в России / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов // XVII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества. В четырех книгах. Книга 3. Отв. ред. Е. Ясин. М.: НИУ ВШЭ, 2017. – С. 381–389.

8. Боровков А.И. О дорожной карте «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов // Трамплин к успеху. – 2017. – № 10. – С. 8–11.

9. Боровков, А.И. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии / А.И. Боровков, Л.В. Лысенко, П.Н. Биленко, Н.С. Верховский, М.О. Фельдман, С.Л. Лысенко, И.С. Завалеев, С.Н. Фокин, Ю.А. Рябов, В.М. Марусева, С.И. Красинский, А.В. Парыгин, П.В. Демин, А.Б. Третьяков // Рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. Ноябрь 2017 года. Глава 2. – С. 24–44.

10. Создание единого информационного пространства машиностроительного предприятия на основе облачных технологий / А.В. Волгин, И.В. Гусев, С.В. Куликов и др. // Вестник ВГТУ. – 2012. – № 6. – С. 44–47.

11. Сенченко П.В. Организация баз данных: учеб. пособие. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2004. – 170 с.

12. Юридический словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/lower/17887, свободный (дата обращения: 28.11.2015).

13. XML. Beginning XML / Д. Хантер, Д. Рафтер и др. – М.: Вильямс, 2009. – 1344 с. 5. Гриценко Ю.Б. Геоинформационные технологии мониторинга инженерных сетей / Ю.Б. Гриценко, Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуковский. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2010. – 148 с

14. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.

15. Агеев А.И. Управление цифровым будущим // Мир новой экономики. 2018. Т. 12.№ 3. С. 6–23. DOI: 10.26794/2220-6469-2018-12-3-6-23.

16. Galushenko A., Olefirenko A. Paradigm of Integrated Enterprise Managing (IEM) System as Universal (Organization-Independent) Enterprise Operating System from Real Digital Transformation of Real Economy to Economical Singularity // Asian Business Research Journal. 2020. No. 5. Pp. 28–42.

17. Olefirenko A., Galuschenko A. Major Features, Benefits, and Prerequisites for Intelligent Enterprise Managing System // Research in Social Sciences and Technology. 2018. Vol. 3. No. 3. Pp. 68–91.

18. Аренс Ю.А., Каткова Н.А., Халимон Е.А., Брикошина И.С. Пятая промышленная революция – инновации в области биотехнологий и нейросетей // E-Management. 2021. Т. 4. № 3. С. 11–19. https://doi.org/10.26425/2658-3445-2021-4-3-11-19.

19. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. Sustainability. 2019. Vol. 11. No. 16: 4371. https://doi.org/10.3390/su11164371 (accessed 21.10.2023).

20. Raynolds C.W. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model Computer Graphics. 1987. Vol. 21. No. 4. Pp. 25–34.

21. Водолазский И.А., Егоров А.С., Краснов А.В. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации // Молодой ученый. 2017. № 4 (138). С. 147–153. https://moluch.ru/archive/138/38900/ (дата обращения: 31.10.2023).

22. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема индустрии 5.0: понятие, сущность, модель // Экономическое возрождение России. 2021. № 4 (70). С. 39–62.

23. Сергеев А.Ю., Широкова О.В. Мошенничество в цифровом обществе в условиях социальных изменений // Цифровая социология. 2023. Т. 6. № 1. С. 59–71. Н.М. Розанова Вестник Института экономики Российской академии наук № 6. 2023. С. 61–77

24. Anstis S., Barnett S., Chan S., Leonard N., Deibert R. The negative externalities of cyberspace insecurity and instability for civil society // In Cyberspace and Instability / Eds. Chesney R., Shires J., Smeets M. Edinburgh. Edinburgh University Press. 2023. Pp. 240–277.

25. Aguirregabiria V., Gu J., Luo Y., Mira P. Diffusion of COVID-19 in Social and Production Networks: Simulation Evidence from a Dynamic Model // Annals of Economics and Statistics. 2021. June. No. 142. Pp. 179–210.

26. Herskovic B., Ramos J. Acquiring Information through Peers // The American Economic Review. 2020. Vol. 110. No. 7. Pp. 2128–2152.

27. Awaya Y., Krishna V. Information Exchange in Cartels // The RAND Journal of Economics. 2020. Vol. 51. No. 2. Pp. 421–446.

28. Biglaiser G., Cremer J. The Value of Incumbency When Platforms Face Heterogeneous Customers // American Economic Journal: Microeconomics. 2020. Vol. 12. No. 4. Pp. 229–269.

29. Ellison G., Ellison S.F. Search, Obfuscation and Price Elasticities in the Internet // Econometrica. 2009. Vol. 77. No. 2. Pp. 427–452.

30. Ellison G., Wolitzky A. A Search Cost Model of Obfuscation // The RAND Journal of Economics. 2012. Vol. 43. No. 3. Pp. 417–441.

31. Roos N., Smirnov V. Collusion with Intertemporal Price Dispersion // The RAND Journal of Economics. 2020. Vol. 51. No. 1. Pp. 158–188.

32. Risi E., Pronzato R. Smart Working is not so Smart: Always-On Lives and the Dark Side of Platformisation // Work Organisation, Labour & Globalisation. 2021. Vol. 15. No. 1. Pp. 107–125.

33. Leonardi E., Pirina G. Uber in the Portuguese Gig Economy: a Laboratory for Platform Capitalism // Work Organisation, Labour & Globalisation. 2020. Vol. 14. No. 2. Pp. 46–63.

34. Лопатина Е. С., Ячменева Е. Д. Внедрение целей устойчивого развития в стратегию современных организаций как фактор их развития // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): сборник трудов Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции, 18–20 ноября 2021 г. / Под ред. д-ра экон. наук, проф. Д. Г. Родионова, д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021., 48-51 с. DOI: 10.18720/IEP/2021.3/9

35. Викторова Е. В. Реализация целей устойчивого развития: Европейский и Российский опыт. URL: https://unecon.ru/sites/default/files/sbornik_statey_s_oblozhkoy.pdf (дата обращения: 02.11.2021).

36. Федоров А.А., Корягин С.И., Либерман И. В., Клачек П. М., Полупан К. Л. Основы создания нейроцифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект: монография. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2021. 320 с.

37. Клачек П.М., Полупан К.Л., Корягин С.И., Либерман И.В. Гибридный вычислительный интеллект. Основы теории и технологий создания прикладных систем: монография, изд. 2, дополненное. Калининград: Изд-во БФУ им.И.Канта, 2020. 340 с.

38. Бабкин А. В., Шкарупета Е. В., Плотников В. А. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель // Экономическое возрождение России. 2021. №4 (70). С. 39-62. DOI: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62.

39. Jacobides, M. G., Cennamo, C., Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems // Strategic Management Journal. 39(8), 2255–2276. https://doi.org/10.1002/smj.2904.

40. Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.М. Технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14. № 3. С. 19–39. DOI: 10.18721/JE.14302

41. Полупан К. Л., Корягин С.И., Клачек П.М. Технология продвижения инновационных разработок, продукции и наукоемких услуг как инструмент создания цифровой интеллектуальной платформы «промышленность будущего» // Промышленная политика в цифровой экономике: проблемы и перспективы: труды научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.В.Бабкина. СПб.: Политех; 2017; 123-129. DOI:10.18720/IEP/2017/18

УДК582.232/275.574.5.633

# ГЛАВА 5. АЛЬГОФЛОРА РЫБОДНЫХ ПРУДОВ САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ПИТАНИЕ ПЛАНКТОНОЯДНЫХ РЫБ

**Шерназаров Шавкат Шухратович**
кандидат биологических наук, доцент
Самаркандского государственного университет ветеринарной медицины, животноводство и биотехнологии. Самарканд, Узбекистан
**Ташпулатов Йигитали Шавкатиллаевич**
кандидат биологических наук, доцент
Самаркандский институт агроинновации и исследовании. Самарканд, Узбекистан

**Аннотация**. Особое внимание уделяется мониторингу биоразнообразия гидробионтов в искусственных водоемах, где разводятся растительноядные рыбы, оценке их изменений, инвентаризации, объяснению значения кормовых видов в кормлении растительноядных рыб и разработка эффективных технологий повышения их продуктивности. При выполнении поставленной задачи определение современного таксономического состава альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области, проведение инвентаризации альгофлоры, обоснование роли факторов окружающей среды в формировании флоры водорослей различных источников питания, оценка сезонных и количественных характеристик фитопланктона растительноядных рыб, увеличение их биомассы а также разработка технологии имеет большое научное и практическое значение.
**Ключевые слово:** альгофлора, рыбоводные пруды, таксономия, флористика и экология водоросли, индикаторные-сапробные виды.

## ALGOFLORA OF FISH PONDS OF SAMARKAND REGION AND THEIR IMPORTANCE IN THE NUTRITION OF HERBIVOROUS FISH

**Shernazarov Shavkat Shukhratovich,**
**Tashpulatov Yigitali Shavkatillaevich**

**Abstract:**. Particular attention is paid to monitoring the biodiversity of aquatic organisms in artificial reservoirs where herbivorous fish are bred, assessing their changes, taking inventory, explaining the importance of food species in feeding herbivorous fish and developing effective technologies to increase their productivity. In carrying out the task, determining the current taxonomic composition of the algal flora of fish ponds in the Samarkand region, conducting an inventory of algal flora, substantiating the role of environmental factors in the formation of algae flora of various food sources, assessing the seasonal and quantitative characteristics of phytoplankton of herbivorous fish, increasing their biomass, as well as developing technology has great scientific significance. and practical significance.
**Keywords:** algal flora, fish ponds, taxonomy, floristics and ecology of algae, indicator-saprobic species.

**Введение**. Альгологические исследования во всем мире направлены на определение состояния альгофлоры в искусственных водоемах в районах с сильным антропогенным воздействием на оценку количественных и сезонных характеристик кормовых водорослей в рыбоводных прудах с целью обеспечения населения дешевой, качественной и экологически чистой рыбопродуктом. Особенно важно сохранить биоразнообразие искусственных водоемов в густонаселенных районах, обеспечить его устойчивость, разработать эффективные технологии использования местных и экологически чистых продуктов питания при выращивании рыбопродукты. В связи с этим, в рыбоводные пруды с различными источниками питания, что определяет повышение продуктивности растительноядных рыб путем определения их гидробиологических свойств, изучения сезонных и количественных аспектов альгофлоры и на этой основе увеличения биомассы кормовых видов водорослей и уменьшение вредных видов. Соответственно, изучение состава альгофлоры рыбоводных прудов, обоснование роли факторов окружающей среды в формировании в ней альгофлоре, разработка рекомендаций к применению в полевых условиях для повышения рыбопродуктивности путем оценки сезонной и количественной характеристики растительноядных видов имеет важное научное и практическое значение.

Искусственные водоемы на территории Узбекистана, в том числе рыбоводных прудов альгофлоры и ее значение в рыбоводстве изучено А.Э.Эргашева [1, с. 360], С.А.Халилова [2, с.267], А.Темирова [3, с.22], Х.А.Алимджанова [4, с.49], А.Хабибуллев [5, с.25]. Последные годы альгофлора водоемов Самаркандской области изучено Й.Ш.Ташпулатова и ее учениками [6, с.49-54], [7, с. 338-344], [8, с. 542-551], [9, с.1138], [10, 814-819], [11, с14-16].

Анализ научных источников показал, что исследовательская работа не раскрывает таксономических, флористических, экологических, географических особенностей альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области, а также роли факторов окружающей среды в формировании альгофлоры разнотипных водоемов.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЕ

В период исследовательских и научных экспедиций (2016-2020 гг.) было собрано более 200 (150 фитопланктон, 25 бентос, 25 перифитон) альгологических обрацов (рисунок. 1). Сбор материалов и лабораторные анализы проведены согласно общепринятым и современным альгологическим [12, с.350] и гидробиологическим методам. Для систематизирования сине – зеленых водорослей использованы «*Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (Cyanobacterial genera)* 2014 [13, с.295–335]». Диатомовые водоросли систематизированы по «Системный класс Fragilariophyceae *Round emend. Gogorev et Stepanova (Bacillariophyta)*», K.Krammer, X.Lange-Bertalot [14, с.486]. Также были использованы системы, предложенные М.С.Куликовским и др. (2016), эвгленовые «*Higher classification and phylogeny of Euglenozoa"* [15, с. 250–276], зеленые водоросли « *Systematics of the green algae: conflict of classic and modern, The*

*taxonomy of the Chlorophyta*» [16, с. 1-38]. Общий анализ таксонов проводился по В.Шмидту [17, с. 929 – 940]. При анализе эколого-географических особенностей водорослей использовались широко используемые работы ряда авторов. Изучение видового состава, количества и сезонной динамики водорослей желудочно-кишечного тракта белого толстолобика по методу Кирилова и др. [18, с. 129 – 133]. Результаты исследования обрабатывались с помощью Statistica 7.0 и Microsoft Excel.

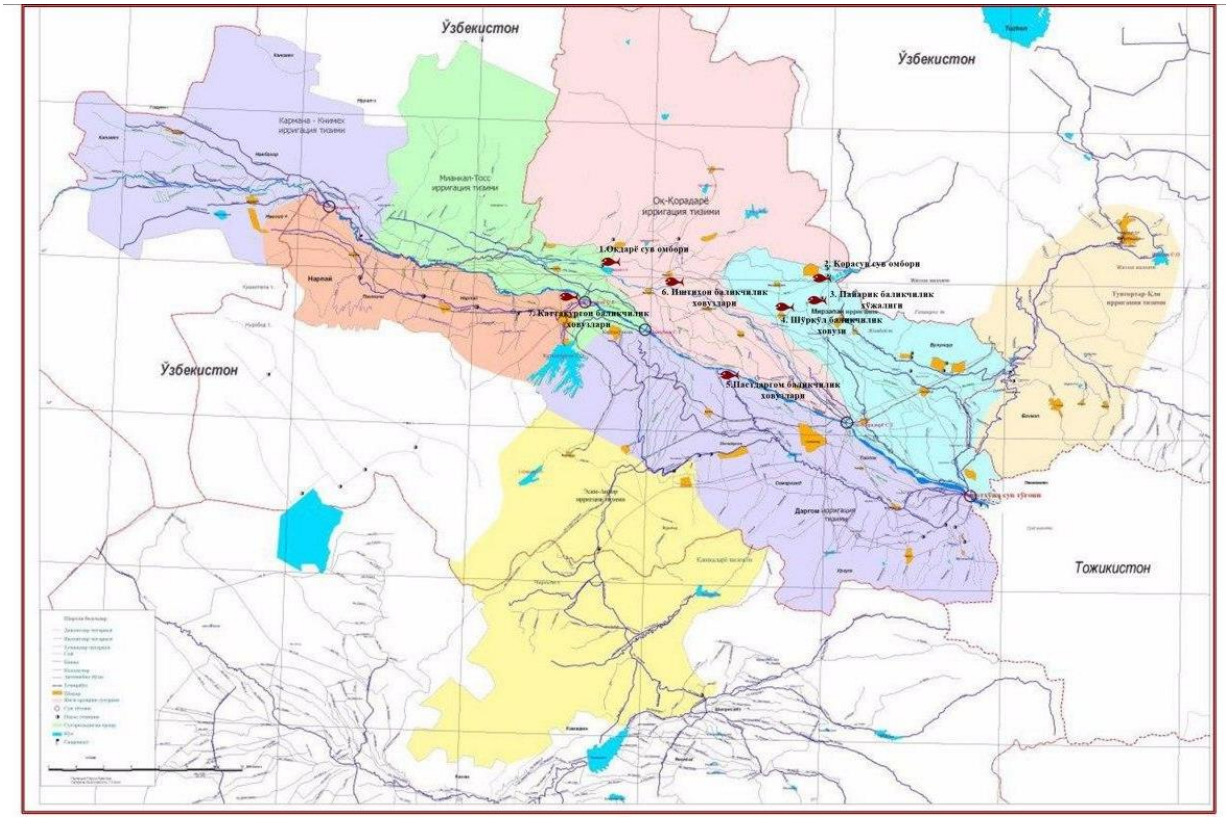



**Рис. 1. Карта-схема рыбоводных прудов Самаркандской области, где проводились альгофлорические исследования**

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЕ

**Таксономический анализ.** Выявлено 258 видов и разновидностей (256 видов, 2 формы) водорослей из исследованных рыбоводных прудов Самаркандской области. Согласно анализу выявлено 5 отделов (Cyanoprocaryota, Dinophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta), 10 классов, 31 порядков, 59 семейств, 126 родов (табл. 1).

Согласно таксономическому анализу, отдел Bacillariophyta является ведущим по количеству видов. Он включает 97 видов и разновидностей. На их долю приходится 37,60% альгофлоры. Следующие места заняли Chlorophyta (70 видов, 27,13%), Cyanoprocaryota (69 видов, 26,74%), Euglenophyta (15 видов, 5,81%), Dinophyta (7 видов, 2,72%). По данным анализа ведущих таксонов, всего в обследованных рыбоводных прудах выявлено 59 семейств. Из них 22 (37,28%) семейства лидируют по количеству видов.

**Таблица 1**

**Таксономический состав альгофлоры рыбоводных прудов**

| Отдел водорослей | Количество таксономических единиц | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Класс | порядок | семейство | Род | Вид | Разновидность: форма | Всего | % |
| Cyanoprocaryota | 1 | 5 | 17 | 38 | 69 | - | 69 | 26,74 |
| Dinophyta | 1 | 2 | 2 | 5 | 7 | - | 7 | 2,72 |
| Bacillariophyta | 3 | 11 | 19 | 44 | 95 | 2 | 97 | 37,60 |
| Euglenophyta | 1 | 1 | 2 | 5 | 15 | - | 15 | 5,81 |
| Chlorophyta | 4 | 12 | 19 | 34 | 70 | - | 70 | 27,13 |
| **Всего:** | **10** | **31** | **59** | **126** | **256** | **2** | **258** | **100** |

Эти семейства включают в себя 179 (69,38%) видов. Среди семейств явными лидерами оказались Oscillatoriaceae (17 видов, 6,59%), Bacillariaceae (16 видов, 6,20%), Fragilariaceae (15 видов, 5,81%), Cymbellaceae (10 видов, 3,87%). Из остальных 37 (30,62%) семейств - 1-4 вида. Из 126 родов в альгофлоре 18 оказались ведущими. Ведущей роды, составляют 14,28% от общего числа родов. В эти роды выключает себе 100 (38,76%) видов альгофлоры. Среди них *Nitzschia* Hassall (14 видов; 5,43%), *Closterium* (8 видов; 3,10%), *Cosmarium* (7 видов; 2,71%), *Phormidium* Kützing ex Gomont (7 видов; 2,71%).

**Флористический анализ.** В **Акдарьинском водохранилище определено** 83 вида водорослей, которые относятся к 4 отделам, 8 классу, 24 порядков, 36 семейств и 69 родов (Таблица 2). *Nitzschia* Hassall (4 вида), *Ulothrix* (4 вида), *Cosmarium* (4 вида), *Spirogyra* Turpin ex Gomont (4 вида), *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont (3 вида) являются ведущими родами альгофлоры водохранилища. 5 ведущих родов включает в себя 19 видов (22,89%). В альгофлоре Акдарьинского водохранилища доминируют такие виды как: *Oscillatoria limosa* C.Agardh ex Gomont, *Oscillatoria planctonica* Woloszynska, *Spirulina meneghiniana* Zanardini ex Gomont, *Spirulina gomontiana* Kützing, *Synedra ulna* Nitzsch, *Navicula* Crypula. Акдарьинское водохранилище находится непосредственно в русле реки Зарафшан, формирование альгофлоры происходило следующим образам: река → водохранилище; река → коллектор → водохранилище; река → канал → рисовые поля → водохранилище; бытовые стоки→ водохранилище.

В альгофлоре **Карасувского водохранилища** идентифицирован 121 вид. Они относаятся к 5 отделам, 10 классам, 27 порядкам, 46 семейству, 84 родам.

В альгофлоре встеречается *Lindavia bodanica* Eulenstein ex Grunow, *Cyclotella meneghiniana* Kutzing, *Peridiniopsis quadridens* (F.Stein) Bourrelly, *Peridinium pusillum* (Pénard) Lemmermann, *Euglena caudata* EFWHübner, виды *Gonium pectoralee*. Формирование альгофлоры Карасуского водохранилища: горные ручьи → водохранилище; подводящий канал → водохранилища.

В альгофлоре **Пастдаргомских рыбоводных прудов** выявлено 127 видов, в том числе 5 отделов, 11 классов, 27 порядков, 52 семейства, 100 родов. В альгофлоре этого региона часто встречается *Nitzschia* Hassall (6 видов), *Euglena* Ehrenberg (6 видов), *Cosmarium* Corda ex Ralfs (5 видов), *Oscillatoria* Lemmermann (4 вида), *Phormidium* (Meneghini) Gomont in Bornet (4 вид), *Fragilaria* Lyngbye (4 вид), *Ulnaria* (Kutzing) Compère (4 вида), *Phacus* Dujardin (4 вида), *Gomphonema* Kutzing (4 вида), *Gyrosigma* Hassall (3 вида), *Chlamydomonas* Ehrenberg (3 вида), *Closterium* Nitzsch ex Ralfs (3 вида) *Merismopedia* Meyen (3 вида), *Spirulina* Turpin ex Gomont (3 вида). Формирование альгофлоры Пастдаргомских рыбоводный прудов происходит в следующем порядке: река → канал → рыбоводные пруд; река → ручей → рыбоводныс пруды; реки → каналы → сточные воды → рыбоводные пруды. Установлено, что в альгофлоре

**Каттакурганских рыбоводных прудов** выявлено 164 вида. Они состоят из 5 отделов, 9 классов, 26 порядков, 51 семейств, 98 родов. В альгоценозе интенсивно развиваются такие виды *Melosira varians* Agardh, *Aulacoseira granulate* (Ehrenberg) Simonsen, *Odontidium anceps* (Ehrenberg) Ralfs в Pritchard, *Cocconeis pediculus* в альгоценозе, *Pseudopediastrum boryanum*, *Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hrades Формирование альгофлоры Каттакурганских рыбоводных прудов происходит в следующем порядке: река → каналы → рыбоводные пруды.

В альгофлоре **Пайарыкских рыбоводных прудов** выявлено 106 видов, которые состоят из 5 отделов, 11 классов, 25 порядков, 44 семейств и 71 вида. В этих прудах определены *Spirocoleus fragilis, Leibleinia epiphytica, Calothrix brevissima, Cyclotella meneghiniana, Discostella stelligera* Cleve & Grunow, *Odontidium hyemale* (Roth), *Peridiniopsis quadridens, Euglena gracilis, Chlamydomonas reinhardtii, Volvox ehrenberg, Willea apiculata*. Альгофлора Пайарыкских рыбоводных прудов формируется в следующем порядке: водохранилища → рыбоводные пруды; реки → каналы → рыбоводные пруды; реки → каналы → стоки сбросы → рыбоводные пруды.

В **пруду Шуркуль** идентифицировано 111 видов. Они составляют 5 отделов, 10 классов, 25 порядков, 40 семейства, 73 рода. Содержат такие виды как: *Leibleinia epiphytica, Calothrix brevissima, Cyclotella meneghiniana, Odontidium hyemale, Peridiniopsis quadridens, Euglena gracilis* G.A.Klebs, *Chlamydomonas reinhardtii, Volvox ehrenberg, Merismopedia elegans, Spirulina princeps, Microcystis protocystis, Oscillatoria planctonica* Lemmermann, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Ulothrix limnetica* Lemmermann in Heering.

**Таблица 2**

**Сравнительно-таксономическая структура альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области**

| Водоёмы | Отдел | Класс | Порядок | Семейство | Род | Вид | % ( из 258) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Карасуское вод-хр | 5 | 11 | 27 | 46 | 84 | 121 | 46,89 |
| Акдарьинское вод-хр | 5 | 8 | 24 | 36 | 69 | 83 | 32,17 |
| Пастдаргом | 5 | 11 | 27 | 52 | 100 | 166 | 64,34 |
| Каттакурган | 4 | 9 | 26 | 59 | 98 | 164 | 63,56 |
| Пайарык | 5 | 11 | 25 | 44 | 71 | 106 | 41,08 |
| Шуркуль | 5 | 10 | 25 | 40 | 73 | 111 | 41,08 |
| Иштыхан | 5 | 10 | 21 | 41 | 57 | 89 | 34,49 |

Альгофлора этих рыбоводных прудов формируется в следующем порядке: река → канал → сточные воды → пахотных земель → пруд; река → канал → ручей → пруд.

В альгофлоре **Иштыханских рыбоводных прудов** выявлено 4 отдела 10 классов, 21 порядков 41 семейств 57 родов 89 видов (табл. 2). В составе альгофлоры встречаются следущие виды как: *Cyclostephanos dubius* Hustedt, *Pantocsekiella kuetzingiana* Thwaites, *Melosira varians* Agardh, *Aulacoseira ambigua Grunow, Odontidium anceps* Ehrenberg, *Fragilaria crotonensis* Kitton, *Ceratium hirundinella* O.F.Müller, *Parvodinium pusillum* Penard. Формирование альгофлоры происходит в следущем порядке: реки → рыбоводные пруды; реки → каналы → канавы → сброса → рыбоводные пруды. Анализ особенностей формирования альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области показал, что альгоценозы существенно отличаются друг от друга, равно как и флористический состав, разнообразие, видовое расположение в нем ведущих таксонов. Эти характеристики включают источники питания прудов, свойства почвы, удобрения прудов (минеральных и органических), время эксплутации, динамику круговорота воды и другие. Факторы окружающей среды в прудах (температура, минерализация воды, pH, взвешенные частицы в воде, органические вещества) играют важную роль в его формировании.

**Экологичиеский анализ.** Отмечено явное преобладание фитопланктона в альгофлоре (146 видов - 56,58%). Следующие места заняли фитобентос (57 видов - 22,48%), факультативные фитоплантоны (44 вида - 17,06%), перифитоны (11 видов - 4,26%). Тот факт, что фитопланктон занимает значительную долю в исследованных водоемах, свидетельствует о благоприятных условиях для начальных этапов питания рыб.

Эвритермы составили 132 (51,16%), а стенотермы - 126 (48,83%). Из сте-

нотерм: *Synechococcus elongatus Nägeli, Merismopedia glauca Kützing, Discostella stelligera Houk & Klee, Fragilariforma virescens D.M.Williams & Round, Peridiniopsis pygmaea Baurelly, Peridinium bipes F.Stein, Euglenaria caudate Karnowska-Ishikawa, Linton & Kwiatowski in Linton & al, Phacus caudatus Hübner, Chlamydomonas atactogama Korshikov in Pascher; из* эвритермов распространены *Aphanocapsa holsatica G.Cronberg & Komárek, Chroococcus turgidus Nägeli, Lindavia bodanica T.Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson, Pinnularia divergens W.Smith, Peridinium cinctum Ehrenberg, Parvodinium pusillum Carty, Euglena deses Ehrenberg, Edaphochlamys debaryana Pröschold & Darienko in Pröschold & al, Volvox aureus Ehrenberg*.

В рыбоводных прудах диатомовые водоросли развиваются осенью или ранней весной. Практически одинаковая температура воды с середины весны до второй половины осени обеспечила устойчивое развитие сине-зеленых и зеленых водорослей. Следовательно, диатомовые водоросли, которые считаются стенотермными, не могут стабильно лидировать по количеству видов в рыбоводных прудах.

В альгофлоре выявлено 16 галофильных, 15 мезогалобных, 6 галофобных, 3 олигогалобных и 94 индифферентных вида. Галофильные и мезогалобные виды встречаются чаще из-за того, что рыбоводные пруды питающей реками, каналами и другими водными источниками, скорость водообмена низкая, объем относительно небольшой. Для индифферентных видов характерно их распространение во всех типах водоемов. В альгофлоре Каттакурганской и Пастдаргомской рыбоводных прудов преобладают галофильные и мезогалобные виды.

Всего в альгофлоре рыбоводных прудов обнаружено 144 (55,81%) **индикаторно-сапробные виды**. Из них 66 видов являются олигосапробами, 42 бета-мезосапробами, 22 ксеносапробами, 14 альфа-мезосапробами. Анализы показали, что ксено- и олигосапробные виды более распространены в Акдарьинском водохранилище, Иштыханском рыбоводных прудах и Карасувском водохранилище, которые питаются в основном реками. Бета- и альфа-мезосапробные виды наблюдались в Пайарыкской, Каттакурганской и Пастдаргомской рыбовдных прудах, которые являются мелкими и неглубокими и имеют медленный круговорот воды.

В исследованных водоёмах алкалифильные виды (36 видов) оказались более многочисленными, чем ацидофильные (16 видов), а 49 видов оказались индифферентными.

**Географический анализ.** Анализ **фитогеографической структуры** флоры показал, что виды-космополиты явно доминируют, насчитывая 134 вида. К голарктическому типу относятся 5 вида, арктоальпийских 3, бореальных 3, полиотропических 2, и циркумбориалному 1. Насыщенность альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области обусловлена тем, что через реку протекает определенное количество воды, расстояние между водоемами невелико, а расположение в одном регионе обеспечивает преобладание космополитных видов.

## АНАЛИЗ АЛЬГОФЛОРЫ РЫБОВОДНЫХ ПРУДОВ ПО ТИПАМ ВОДОЕМОВ

Проведенный анализ показывает, что характеристики, флористический состав и альгоценоз изучаемых типов прудов различаются в зависимости от водоемов, принадлежащих к каждому типу. Эта ситуация зависит от питания водоёма, свойств почвы, содержания воды и режима ее обмена, ряда факторов окружающей среды (температуры, pH, количества взвешенных частиц в воде, содержания органических и минеральных веществ, биогенных элементов). Соответственно водоемы условно делятся на 3 типа: 1. водохранилища; 2. пруды, питающиеся реками и каналами; 3. пруды, питающиеся разными источниками воды.

**Анализ альгофлоре Акдарьинского и Карасуского водохранилищ.** В альгофлоры водохранилищ 5 отделов, 10 классов, 32 порядков, 60 семейств, 107 родов, 177 видов (табл. 3). Это 68,60% от общей альгофлоры. Число общих видов для водохранилищ составляет 29, что составляет 16,38% альгофлоры водохранилищ. К ним относятся *Synechococcus elongatus, Merismopedia elegans, Coelosphaerium dubium, Lindavia bodanica, Cyclostephanos dubius, Ulnaria acus, Chlamydomonas incerta, Pandorina morum, Tetraëdron Regular*. Общие виды для водохранилищ не составляют большинства. Объясняется это тем, что Акдарьинское водохранилище находится в русле реки, динамика циркуляции воды намного быстрее, чем в Карасувском водохранилище, а Карасувское водохранилище питается большими и малыми ручьями, в основном с гор.

**Анализ альгофлоры прудов, питаемых реками и каналами.** По результатам анализа свойства питания и экологические характеристики Пастдаргомской и Иштиханской рыбоводных прудов схожи. В альгофлоре этих рыбодных прудов выявлено 5 отделов, 10 классов, 32 порядков, 58 семейств, 108 родов 193 (74,80%) вида (таблица 3). Количество общих видов для рыбоводных прудов в двух регионах составило 61. На их долю приходится 31,60% всей альгофлоры. Из общих видов 12 видов относятся к сине-зеленым 21 диатомовым, 11 видов эвгленовым, 17 видов относятся к зеленым водорослям. Примеры: *Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing, Synechocystis sallensis Skuja, Lindavia comta Nakov, Gullory, Julius, Theriot & Alverson, Cyclostephanos dubius Round in Theriot & al, Pantocsekiella quetzingiana K.T.Kiss & E.Ács in Ács & al, Euglena deses Ehrenberg, Chlamydomonas reinhardtii P.A. Dangeard, Tetradesmus obliquus ) M.J. Wynne*. Анализы показали, что альгофлора Пастдаргомской и Иштиханской рыбоводных прудов характеризуется большим количеством видов, аналогичных альгофлоре исследованных водоемов. Объясняется это тем, что пруды питающиеся одними и теми же источниками (река Зарафшан и ее каналы, оросительные каналы), характеристиками почвы, экологическими характеристиками воды близки друг к другу.

**Анализ альгофлоры питающихся водоемов из различных источников воды (Пайарыкского, Шуркульского и Каттакурганского рыбоводных прудов).** Из-за высокой плотности населения вокруг этих прудов и прямого сброса сельскохозяйственных сточных вод в рыбоводные пруды, было обнаружено, что эти водоросли резко отличаются от альгофлоры других типов прудов, упомянутых выше. Согласно таксономическому анализу, эта альгофлора насчитывает 5 отделов 10 классов 33 порядков 60 семейств 118 родов 230 видов (89,14%) (таблица 3). Количество общих видов для этих рыбоводных прудов составляет 116 (50,43%).

Общие виды включают *Synechococcus elongates Nägeli, Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing, Synechocystis sallensis Skuja, Anagnostidinema acutissimum Strunecký, Bohunická, J.R.Johansen & J.Komárek, Lindavia comta Nakov, Gullory, Julius, Theriot & Alverson, Discostella stelligera Houk & Klee, Ctenophora pulchella D.M. Williams & Round, Ulnaria capitata Compère, Navicula salinarum Grunow in Cleve & Grunow, Ceratium hirundinella Dujardin, Euglena elongates G.A.Klebs.*

Альгофлора этих рыбоводных прудов относительно богата водорослями других изученных типов прудов из-за их питания различными источниками воды, относительно высокой и умеренной температуры воды и почти полного отсутствия водообмена в прудах.

**Таблица 3**

**Сравнительно-таксономический спектр альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области**

| **Показатели** | **Типы рыбоводных прудов** | | |
|---|---|---|---|
| | Акдарьинское и Карасувское водохранилища | Пастдаргомский и Иштыханский пруды | Каттакурганский, Пайарыкский, Шуркульский, пруды |
| Количество видов /% | 177/68,60* | 193/74,80 | 230/89,14 |
| Количество родов % | 107/84,92** | 108/85,71 | 118/93,65 |
| Количество семейств% | 57/96,61*** | 58/98,30 | 58/98,30 |
| Среднее количество видов в родов | 1,65 | 1,78 | 1,94 |
| Среднее количество видов в семействе | 3,10 | 3,33 | 3,96 |
| Среднее количество родов в семействе | 1,87 | 1,86 | 2,03 |
| Количество общих видов /% | 29/16,38 | 61/31,60 | 116/50,43 |

*примечание: *% от общего числа видов, **% от общего числа родов, ***% от общего числа семейств.*

В альгофлоре Пайарыкского, Шуркульского, Каттакурганского рыбоводных прудов, впадения разными типами источников воды, большое количество видов связано с ее питанием из разных источников воды (особенно сточных вод населения и сельскохозяйственных культур), относительно неглубоких, небольшие пруды, медленная циркуляция воды, относительно высокая температура воды - это объясняется тем, что пруды густо покрыты высокими водными растениями и что эти пруды уже несколько лет используются для рыбоводства.

## РОЛЬ АЛЬГОФЛОРЫ В ПИТАНИИ РЫБ

В ходе исследования было выявлено 102 вида водорослей из органов желудочно-кишечного тракта белого толстолобика. Из них 51 (50,00%) вид относятся к отделам- Chlorophyta, 28 (13,72%) - Bacillariophyta, 13 (26,47%) - Euglenophyta, 8 (7,84%) - Cyanoprocaryota и 2 (1,96%) - Dinophyta. Эвгленовые и сине-зеленые водоросли доминируют по биомассе в пищевом спектре белого толстолобика. Было замечено, что они «цветут» в прудах в летние месяцы.

В начале сентября *Cyclotella meneghiniana* (диатомовая) составляла основную часть пищевого спектра рыб. Следует отметить, что изучение спектра питания веществ белого толстолобика, пойманного в конце сентября, показало, что к этому времени количество и биомасса диатомовых намного ниже, чем у эвгленовых и сине-зеленых водорослей. Рыба, пойманная в апреле, содержит гораздо меньше фитопланктона в желудке. Эвгленовые преобладали в весеннем рационе рыб.

Среди протококков в мае - *Scenedesmus quadricauda, S. bijugatus, S. arcuatus. platydiscus*, чаще, чем *Crucigenia quadrata*. В мае 2019 года *Euglena acus, E. texta, Stromobmonas acuminata var. euglenas*, такие как *verrucosa, Trachelomonas intermedia, Phacus orbicularis*, стали явным лидером по биомассе. Массовое развитие водорослей в фитопланктоне характеризуются постоянным преобладанием в составе кормовой группы исследуемых рыб.

**Удобрение рыбоводных прудов и его роль в развитии фитопланктона**. Были разработаны меры, которые необходимо предпринять в случае увеличения фитопланктона, который считается вредным для белого толстолобика в альгофлоре рыбоводных прудов, и приведены рекомендации для рыбохозяйственных сфер: 1. обрабатывать известью пруды; 2. Присыпать 2 кг фосфорно-калийных удобрений на 1 $м^3$ воды, сначала аммиачной селитрой из расчета 5 кг на 1000 $м^2$ воды в пруде; (это приводит к значительному снижению температуры воды, способствует развитию фитопланктона, увеличивает количество свободного кислорода в воде); 3. как можно больше собирать поверхностные нитчатые водоросли гравием и подобными инструментами; 4. Не допускать попадания в рыбоводные пруды различных твердых и бытовых отходов; 5. Не выбрасывайте люцерну и злаки в пруды, где вместе с белым толстолобик ам кормятся другие карпы (белый амур и т.д.). Рекомендуется вносить 5-6 тонн тухлого навоза на гектар, 120-140 кг фосфорных удобрений на гектар в новых созда-

ваемых рыбоводных прудах. Обрабатывать землю плугом и заливать ее водой к весне.

**ВЫВОДЫ.** В альгофлоре рыбоводных прудов Самаркандской области выявлено 258 видов и разновидностей (256 видов, 2 формы). Они принадлежат 5 отделам, 10 классам, 31 порядком, 59 семействам, 126 родам. Среди отделов лидирует Bacillariophyta (97), составляющая 37,60% от общей альгофлоры. Следующие места заняли Chlorophyta (70; 27,13%), Cyanoprocaryota (26; 26,74%), Euglenophyta (15; 5,81%) и Dinophyta (7; 2,72%); анализы показали, что 22 семейства были ведущими по количеству видов. Ведущие семейства включают 179 видов (69,38%) альгофлоры. В ведущих родов в составе альгофлоры включает в себя 100 видов (36,78%).

Таксономический состав рыбоводных прудов по сходному питанию, почвенным и экологическим характеристиками был следующим: водоронилищах - 5 отделов 10 классов 32 порядков 60 семейств 107 родов 177 видов (68,60% от общей альгофлоре); в рыбоводных прудах питающихся реками и каналами: 5 отделов 10 классов 32 порядков 58 семейств 108 родов 193 вида (74,80%); в рыбоводных прудах, питающихся различными типами источников воды: 5 отделов 10 классов 33 порядков 60 семейств 118 родов 230 видов (89,14%). В Акдарьинском и Карасувском водохранилищах выявлено 29 общих видов (16,38%), в Пастдаргомском, Иштыханском рыбоводных прудах - 61 вид (31,60%), в Пайарыкском, Шуркульском, Каттакурганском рыбоводных прудах - 116 видов (50,43%). Видовое богатство альгофлоры Пайарыкского, Шуркульского, Каттакурганского рыбоводных прудов объясняется его питанием из разных источников воды, мелководностью прудов, небольшими размерами, высокой температурой воды и низкой динамикой циркуляции воды. Анализы показали, что в прудах насчитывается 55 общих видов, что составляет 21,32% от общей альгофлоры. Из них 21 вид (38,18%) относятся к сине-зеленым, 13 (23,63%) к зеленым, 12 (21,81%) к диатомовым и 9 (16,36%) к эвгленам.

Флористический спектр, разнообразие, сезонное формирование альгофлоры рыбоводных прудов Самаркандской области отличаются друг от друга. Это напрямую связано с источниками питания прудов, характеристиками почвы, удобрением пруда, сроки эксплутации, динамикой циркуляции воды и другими факторами окружающей среды в прудах (температура, минерализация воды, pH, взвешенные частицы в воде, органический состав). Фитопланктон явно доминировал в альгофлоре (146 видов, 56,58%). Следующие места заняли фитобентос (57 видов, 22,48%), факультативные плантоны (44 вида, 17,06%) и перифитоны (11 видов, 4,26%) (48,83%). По солености воды насчитывается 16 галофильных видов, 15 мезогалобных, 6 галофобных, 3 олигогалобных и 94 индифферентных. В альгофлоре рыбоводных прудов Самаркандской области 144 вида (55,81%) идентифицированы как виды-индикаторы. Из них 66 видов являются олигосапробами, 42 вида - бета-мезосапробами, 22 - ксеносапробами и 14 видов - альфа-мезосапробами. Из альгофлоры 36 видов представляют собой

алкалифилы, 16 видов - ацидофилы и 49 видов - индифферентные. Выявлено, что 134 вида водорослей относятся к космополитным, 5 голартическим, 3 аркто-альпийским, 3 бореальным, 2 палеотропным, 1 вид циркумбореальному типу.

Из желудочно-кишечного тракта белого толстолобика, было идентифицировано 102 вида водорослей. Из них 51 видов (50,00%) относятся к отделам Chlorophyta, 28 видов (13,72%) к Bacillariophyta, 13 видов (26,47%) к Euglenophyta, 8 видов (7,84%) к Cyanoprocaryota и 2 вида (1,96%) к Dinophyta. Рекомендуется вносить поздней осенью 5-6 тонн тухлого навоза на гектар, 120-140 кг фосфорных удобрений на гектар новых создаваемых рыбоводных прудах, обрабатывать землю плучом и весной наполнять его водой.

**Список источников**

1. Эргашев А.Э. Закономерности развития и распределения альгофлоры в искусственных водоемах Средней Азии. – Ташкент: Фан, 1976. – С.360.

2. Халилов С.Х. Альгофлора Чардарьинского водохранилища.- Ташкент: Фан, 1976. – С. 267.

3. Темиров А.А. Альгофлора Кайраккумского и Каттасайского водохранилищ: Автореф. дис. … канд. биол. наук. – Ташкент, 1996. – С.22.

4. Алимжанова Х.А. Закономерности распределение водорослей водоемов реки Чирчик и их значение в определении эколого-санитарного состояния водоемов: Автореф. дис. … докт. биол. наук. – Ташкент. 2005. – С. 49.

5. Хабибуллаев А.Х. Альгофлора Чарвакского водохранилища и ее значение: Автореф. дис. … канд. биол. наук. – Ташкент, 1991. – С. 25.

6. Tashpulatov Y.Sh. (2018) Taxonomic analysis of algoflora of the Akdarya reservoir (basin of the Zarafshan river, Uzbekistan). *Hydrobiological Journal.* 54 (1) 49–54. https://doi:10.1615/HydrobJ.v54.i1.

7. Shernazarov S.S. and Tashpulatov Y.Sh. (2020) Species Composition of Algae in the Food Tract of Common Silver Carp (*Hypophtalmichthys molitrix* Vab.) in Growing Conditions. *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Zoology. 39*(2), 338–343. https://doi.org/10.48165/

8. Dustov, B.S. and Tashpulatov, Y.Sh. (2023) Taxonomic Analysis and Ecological Features of the Algal Flora of the Water Bodies of the West Zarafshan Range. *American Journal of Plant Sciences*, 14, 542-551. https://doi.org/10.4236/ajps.2023.145037

9. Kobulova B.B. and Tashpulatov Y.Sh. (2023) Bioresource potential of Phytoplankton of lake Khadicha (Bukhara, Uzbekistan). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1138, 012014. https://doi:10.1088/1755-1315/1138/1/012014.

10. Tashpulatov Y.S. and Shernazarov S.S. (2021). Formation of algocenoses of fish ponds in connection with the torture of water bodies of the Samarkand region. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, *12*, pp. 814-819. https://doi: 10.4236/ajps.2023.145037.

11. Tashpulatov Y.Sh. and Qobulova B.B. (2017) Ecology of Euglenoids (Euglenophyta) in Middle Flow of Zarafshan River. *The Way of Science*. 2017. № 5 (39) 14-16.

12. Голлербах М.М., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1. Общая часть. Пресноводных водоросли и их изучение. – М.: Советская наука, 1951. – С.350.

13. Komárek J., Kaštovský J., Mareš J. & Johansen J. R. (2014): Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. – Preslia 86: 295–335.

14. Krammer K. Bacillariophyceae Teil : Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae), Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis. – Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verland Heidelberg, 2004. – Bd. 2 (4). – 468 p.

15. Thomas Cavalier-Smith Higher classification and phylogeny of Euglenozoa // European Journal of Protistology Department of Zoology, University of Oxford, South Parks Road, Oxford. 56. 2016. pp. 250–276.

16. Hegewald E. Revision of the genus Desmodesmus (Sphaeropleales, Scenedesmaceae) species with lateral spines. 2. The multi-spined to spineless taxa // Algological Studies. – 2005.– Vol. 116. – P. 1-38.

17. Шмидт В.М. Количественные показатели в сравнительной флористике // Ботан. журн. – Москва, 1974. Том 59. – № 7. – С. 929 – 940

18. Кирилов А.Ф, Шевелева Н.Г, Шмакова З.И. Перспективы рыбхозяйственного использования Светлинского водохранилища (бассейн реки Вилюй) // Наука и образование. – Москва 2016, № 1 С. 129 – 133.

# РАЗДЕЛ II. СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ

УДК 616.15-008.1

# ГЛАВА 6. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭРИТРОЦИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ КРОВИ У ДОНОРОВ

**Чечеткин Александр Викторович**
д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела организации научной деятельности
ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» МЧС России

**Аннотация:** представлены современные сведения об инновационных методах и технологиях получения эритроцитных компонентов донорской крови. Показаны возможности внедрения автоматизированных систем для заготовки и переработки крови доноров для повышения эффективности деятельности учреждений службы крови, а также для обеспечения безопасности и качества производимых эритроцитных компонентов. Дан анализ результатов использования методов афереза эритроцитов в медицинской практике для получения компонентов крови.
**Ключевые слова:** донорство крови, эритроцитная взвесь, аферез, переливание крови.

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR OBTAINING ERYTHROCYTE COMPONENTS OF BLOOD FROM DONORS**

**Chechetkin Alexander Viktorovich**

**Abstract**: the information on innovative methods and technologies for obtaining erythrocyte components of donor blood is presented. The possibilities of introducing automated systems for the collection and processing of donor blood to improve the efficiency of blood service institutions, as well as to ensure the safety and quality of the produced erythrocyte components are shown. The analysis of the results of using methods of erythrocyte apheresis in medical practice to obtain blood components is given.
**Keywords:** blood donation, red blood cell, apheresis, blood transfusion

Эритроцитные компоненты донорской крови являются незаменимыми средствами коррекции острой кровопотери и анемии при различных заболеваниях, травмах и ранениях. Донор является основным источником для получения крови и ее компонентов, несмотря на многочисленные попытки ученых разработать технологии производства искусственных или рекомбинантных эритроцитов. Ручная переработка была первым методом приготовления эритроцитной массы, используемым в производственной работе учреждений службы крови. На смену методам отстаивания консервированной крови пришли

способы фракционирования с помощью силы гравитации (центрифугирования и др.). Однако при использовании этих методов необходимо учитывать несколько особенностей. Во-первых, они требуют много времени и являются трудоемкими. Во-вторых, любой этап ручного разделения донорской крови должен выполняться высококвалифицированными специалистами, требующими специального обучения. В-третьих, качество компонентов крови, приготовленных ручными методами, варьирует в широких пределах зависимости от различных условий. В-четвертых, каждый дополнительный этап обработки крови способен привести к потенциальным ошибкам и увеличивает риск ошибочных действий персонала. Кроме того, возможны существенные потери получаемых компонентов крови. Поэтому автоматизация является важнейшим направлением развития методов приготовления эритроцитных компонентов. В ее основе содержится ряд автоматизированных действий, таких как взвешивание, балансировка, центрифугирование, экстракция и герметизация, что в конечном итоге уменьшает или устраняет ошибки и позволяет избежать отклонений, связанных с несколькими ручными этапами обработки консервированной крови. На первом этапе автоматизации процесса переработки донорской крови в различных странах были разработаны устройства для запаивания и стерильного соединения трубок полимерных контейнеров. В дальнейшем были созданы автоматические плазмоэкстракторы (сепараторы), позволяющие разделять консервированную кровь на компоненты с помощью оптических датчиков. Использование таких технологий с возможностью переработки одной единицы крови получили название полуавтоматических методов получения эритроцитных компонентов крови. Устранение множества трудоемких этапов благодаря автоматизации сократило общее время обработки и обеспечило более высокую производительность труда медицинских работников. При этом качество эритроцитных компонентов крови соответствовало международным стандартам, а по ряду показателей превосходило их значения в сравнении с компонентами крови, полученными с использованием ручных методов.

Новым этапом развития автоматизации получения эритроцитных компонентов крови явилась разработка и внедрение полностью автоматизированных систем переработки консервированной крови. Разработанная в качестве одной из первых моделей автоматизированная система переработки крови Atreus system (Terumo BCT) позволяет разделять единицу консервированной крови с получением эритроцитной массы, однако ее дальнейшую обработку, например лейкоредукцию, необходимо осуществлять в ручном режиме. Получаемые эритроцитные компоненты полностью соответствуют международным стандартам качества и безопасности. Кроме того, содержание аденозинтрифосфата (АТФ), 2,3-дифосфоглицерата (2,3-ДФГ), ионов калия, глюкозы и лактата в эритроцитной массе, полученной с помощью Atreus system, в течение срока хранения находилось в пределах ожидаемых значений [1, с. 14].

Автоматизированная система разделения цельной крови TACSI предназначена для одновременной переработки 6 единиц консервированной крови и по-

лучения такого же числа единиц эритроцитной массы. Ее производительность составляет до 24 единиц крови в час. Эритроцитная взвесь, полученная с использованием этой технологии, имеет больший объем при идентичном количестве эритроцитов и гематокрите, что позволяет сделать вывод о более высоком выходе эритроцитов из единицы консервированной крови по сравнению с использованием полуавтоматического метода фракционирования донорской крови [2, с. 262]. Проведенные исследования показывают, что технология TACSI WB не вызывает повреждения эритроцитов, которое в дальнейшем прогрессирует во время хранения. Концентрация глюкозы, ионов калия и уровень гемолиза в эритроцитной взвеси не различались по отношению к аналогичным показателям эритроцитных компонентов, полученных в ручном или полуавтоматическом режиме.

Более прогрессивной технологией является автоматизированная система переработки крови Reveos, разработанная компанией Terumo BCT, которая объединяет основные этапы фракционирования консервированной крови и включает в себя аппарат для переработки крови, программное обеспечение и индивидуальные расходные наборы. За один цикл обрабатывается до четырех единиц консервированной крови. В системе Reveos осуществляются автоматическая балансировка центрифуги, центрифугирование, сепарация компонентов крови, запаивание, регистрация и передача данных в автоматизированную информационную систему. По мнению производителя, система Reveos может помочь в повышении эффективности получения компонентов крови за счет сокращения числа ошибок, уменьшения количества выбракованных единиц продукции, высокой степени точности выполнения установленных параметров, получения большего объема компонентов из консервированной крови, возможности настройки с учетом индивидуальных потребностей медицинской организации. Использование такой системы позволяет сократить время обработки единицы консервированной крови на 16 мин. Кроме того, частота выбраковки эритроцитных компонентов вследствие разрыва контейнеров, низкого объема компонента или из-за гемолиза была ниже при использовании системы Reveos по сравнению с полуавтоматическими методами получения компонентов крови [3, с. 290]. Важно подчеркнуть, что автоматизация обработки консервированной крови способствовала повышению выхода эритроцитов из единицы продукта и увеличению содержания гемоглобина в единице эритроцитной массы (взвеси). Однако, основными недостатками современных автоматизированных систем являются сложность программного обеспечения, необходимость использовать расходные материалы только производителя таких систем, а также высокая стоимость оборудования.

По мере развития трансфузиологических технологий и внедрения принципов компонентной терапии стало возможным получать эритроциты непосредственно от донора, с последующей реинфузией ему оставшихся клеточных элементов (тромбоцитов, лейкоцитов) и плазмы (эритроцитаферез).

Аферез эритроцитов первоначально был разработан как терапевтический

метод для лечения пациентов с полицитемией, и дискуссии о целесообразности его использования у доноров продолжаются на протяжении более 40 лет из-за опасений по поводу безопасности доноров и высоких финансовых затрат по сравнению с донорством цельной крови. Аферез одной дозы эритроцитов в составе многокомпонентного донорства и аферез двух доз эритроцитных компонентов крови разрешены во многих странах, в том числе в Российской Федерации. Имеются существенные региональные отличия использования этого метода получения эритроцитных компонентов в медицинских организациях. Это во многом связано с проблемами комплектования доноров, профилактикой дефицита железа и риском развития анемии. С другой стороны, аферез эритроцитов, особенно двух доз от одного донора, имеет ценные преимущества для заготовки аутологичных компонентов крови, или при специальном подборе доноров (для реципиентов, имеющих редкий фенотип или антиэритроцитарные аллоантитела), может снизить риск аллоиммунизации у трансфузионно-зависимых пациентов и, возможно, уменьшить вероятность передачи гемотрансмиссивных инфекций реципиентам.

Для получения двух доз эритроцитов могут использоваться аппараты для цитафереза различных производителей: MCS+ (Haemonetics Corporation), Trima Accel (Terumo BCT), Alyx (Fresenius Kabi), Amicus (Fresenius Kabi), COM.TEC (Fresenius Kabi), Spectra Optia (Terumo BCT). Однако последние два аппарата используются в основном для терапевтического афереза. С помощью этих аппаратов могут быть заготовлены эритроцитные компоненты крови в объеме 360, 400 или 420 мл, которые затем разделяются на две единицы компонента. Средняя продолжительность процедуры получения двух единиц эритроцитов от одного донора варьирует от 25 до 33 мин [4, с. 16].

В проведенном сравнительном исследовании эффективности афереза 2 единиц эритроцитов с помощью 3 аппаратов (MCS+, Alyx, Trima) было установлено, что общий средний объем крови, обработанный во время процедуры, был наименьшим для MCS+ [5, с. 2362]. При использовании аппарата Alyx было значительно более короткое время процедуры афереза по сравнению с Trima и MCS+. Эффективность сбора эритроцитов у Alyx (78%) была значительно выше по сравнению с другими аппаратами для цитафереза. Наибольшее содержание гемоглобина было в эритроцитной взвеси, собранной с помощью Trima, за которыми следовали компоненты, собранные на Alyx и MCS+.

Сложность комплектования доноров, отвечающих критериям отбора для эритроцитафереза, а также проблемы логистики (транспортировка устройства, более длительное время, необходимое для одной донации, увеличенная длительность выполнения работ медицинскими работниками, необходимость продолжительного пребывания донора в донорском пункте) ограничивают возможности внедрения афереза двух единиц эритроцитов в выездных условиях или мобильных донорских пунктах.

В стационарных учреждениях службы крови аферез двух единиц эритроцитов связан с уменьшением рабочей нагрузки и затрат, поскольку не требуется

последующая переработка единицы крови, а иммуногематологическое тестирование и скрининг гемотрансмиссивных инфекций проводится только один раз для двух единиц эритроцитов. Как правило, лейкоредукция осуществляется в автоматическом режиме, потери эритроцитов при обработке являются минимальными. Но недостатком является отсутствие возможности получения плазмы и лейкотромбоцитарного слоя для последующего получения пулированных концентратов тромбоцитов. Однако, в случае выявления у донора маркеров гемотрансмиссивных инфекций появляется необходимость утилизации сразу двух единиц эритроцитного компонента.

Получаемые при аферезе единицы эритроцитной взвеси имеют более стабильные уровни гемоглобина, гематокрита по сравнению с единицами, полученными при донорстве цельной крови [6, с. 155]. Более высокая стандартизация полученных аферезом эритроцитных компонентов является преимуществом для применения принципов надлежащей практики благодаря лучшему контролю процесса на всех этапах производства компонентов. Имеющиеся данные свидетельствуют о высоком качестве полученных аферезом единиц эритроцитной взвеси и полном соответствии нормативным требованиям безопасности [7]. Кроме того, имеются сведения о том, что по отдельным параметрам (содержание АТФ и 2,3-ДФГ, степень гемолиза, количество свободных ионов калия и свободного гемоглобина, а также реологические показатели) полученные автоматическим аферезом эритроцитные компоненты превосходили аналогичные компоненты, полученные из единицы консервированной крови [8, с. 238]. Возможным объяснением этого качественного различия является непрерывное и равномерное смешивание клеток с антикоагулянтом, которое происходит во время афереза, с более постоянным соотношением антикоагулянта к эритроцитам, что уменьшает степень повреждения эритроцитов при донации.

Для донора крови основное преимущество донорства двух единиц эритроцитов с помощью афереза заключается в том, что обеспечивается максимальный вклад в донорство при меньшем количестве посещений донорского пункта.

В обобщенном виде преимущества и недостатки внедрения двойного эритроцитафереза в медицинскую практику представлены в таблице 1.

С целью снижения рисков нежелательных явлений (НЯ) и истощения запасов железа (железодефицита) для доноров двух единиц эритроцитов, которым разрешено сдавать кровь реже, чем донорам цельной крови, применяются более строгие критерии отбора, касающиеся объема циркулирующей крови (ОЦК) и содержания гемоглобина.

В странах Европы в качестве критериев отбора доноров для заготовки двух единиц эритроцитов, рекомендуются показатели ОЦК (не менее 4-5 л), возраст донора, содержание гемоглобина в периферической крови (не менее 140 г/л). При этом интервал между донациями у женщин не должен быть меньше 6 мес., у мужчин – 4 мес. Общий объем заготовленных эритроцитов за год не должен превышать годового объема, установленного для доноров цельной крови. В США основными критериями допуска доноров к даче двух единиц эритроцитов

являются возраст, вес, рост донора, уровень гематокрита. Кроме того, интервал между донациями не должен превышать 16 недель (112 дней), а количество донаций – не более 3 в год.

**Таблица 1**

**Преимущества и недостатки получения и клинического использования двух единиц эритроцитов от одного донора**

| Показатели | Преимущества | Недостатки |
|---|---|---|
| Организационные особенности | Максимальный объем донаций от донора при меньшем количестве посещений донорского пункта | Увеличение объема работы по отбору донора, выполнению процедуры афереза.<br>Необходимость дополнительного обучения медицинского персонала |
| Производственные особенности | Отсутствует необходимость в фракционировании консервированной крови | Отсутствует возможность получения плазмы и лейкотромбоцитарного слоя для пулированного концентрата тромбоцитов |
| Лабораторное тестирование | Одно исследование для двух единиц эритроцитной взвеси | Утилизация двух доз эритроцитной взвеси в случае выявления маркеров гемотрансмиссивных инфекций у одного донора. |
| Качество компонентов крови | Высокая степень стандартизации уровня гемоглобина в компоненте крови.<br>Оптимизация процесса контроля качества и безопасности.<br>Высокий уровень АТФ и 2,3-ДФГ в эритроцитах.<br>Низкая степень гемолиза, содержания внеклеточного калия и свободного гемоглобина. | |
| Организация донорства | Максимальный объем заготовки компонентов крови за один визит в донорский пункт | Отсутствие возможности выполнения процедуры в мобильных донорских пунктах и в выездных условиях. Уменьшение числа доступных доноров для эритроцитафереза.<br>Более частые нежелательные явления во время и после донации.<br>Высокий риск развития дефицита железа у доноров |
| Организация обеспечения компонентами крови | Быстрая и эффективная заготовка эритроцитной взвеси по заявкам медицинских организаций | Уменьшение числа донаций у доноров в год |
| Особенности трансфузионной терапии | Снижение риска аллоиммунизации.<br>Снижение риска передачи гемотрансмиссивных инфекций.<br>Высокий уровень содержания гемоглобина в единице переливаемой эритроцитной взвеси. | |

Осложнения, связанные с донорством крови и железодефицитом, оказывают негативное влияние на повторные донации, и значительное снижение со-

держания железа происходит именно после афереза 2 единиц эритроцитов. Важно отметить, что при донорстве 2 единиц эритроцитов обычно рекомендуется заместительная инфузия изотонического 0,9% раствора хлорида натрия. Ограничения по массе тела и объему крови доноров, а также меньшее количество введенного цитрата и более короткая продолжительность процедуры по сравнению с аферезом плазмы или тромбоцитов снижают вероятность возникновения цитратной реакции. Однако, если учитывать также незначительные реакции и постдонационную слабость, на самом деле НЯ чаще встречаются при донациях 2 единиц эритроцитов, чем при сдаче цельной крови [9, с. 995]. Примерно около 5% потенциальных доноров, отказавшихся от донорства 2 единиц эритроцитов, указывают чувство слабости в качестве наиболее частой НЯ [10, с. 391]. Эта реакция может значительно снизить физическую активность в дни, следующие за донорством, и доноры 2 единиц эритроцитов с профессиями, требующими высокой физической работоспособности, должны быть проинформированы об этом возможном НЯ. В некоторых центрах, например, спортсменам часто советуют избегать донации 2 единиц эритроцитов во время тренировок. Ощущение слабости также может отражать временную ситуацию гипоперфузии тканей или анемии вследствие гемодилюции, которая может быть более существенной после афереза 2 единиц эритроцитов.

Дефицит железа часто происходит при донорстве 2 единиц эритроцитов [11, с. 129], но анемию можно предотвратить с помощью назначения донору препаратов железа.

В Российской Федерации разработан и апробирован способ дискретного двойного эритроцитафереза, при выполнении которого у донора заготавливали 416,6±1,2 мл эритроцитного концентрата с гематокритом 95-98%. При этом у доноров не зарегистрировано тяжелых постдонационных осложнений, а выявленные изменения состояния основных органов и систем, ответственных за адаптацию к эксфузии крови, носили нестойкий преходящий характер, не выходили за пределы диапазона нормальных величин, и являлись выражением физиологических адаптационных реакций организма в ответ на факторы донорской операции.

Следовательно, ограничительные критерии отбора, риск развития НЯ, низкая мотивация из-за более длительных интервалов между донациями, недостаточная доступность афереза 2 единиц эритроцитов в мобильных донорских пунктах и неудобства из-за проблем со временем, наряду с продолжающимися социально-демографическими изменениями донорского потенциала и психологическими факторами, являются причинами низкого уровня использования эритроцитафереза в учреждениях службы крови.

Полагают, что для реципиента переливание двух единиц эритроцитов, полученных от одного и того же донора, потенциально снижает риски аллоиммунизации и инфекций, передаваемых через кровь. Это имеет значение как для трансфузионно-зависимых реципиентов, так и для реципиентов, получающих трансфузионную терапию при экстренной медицинской помощи, особенно, ес-

ли реципиентом является ребенок, подросток или молодая женщина. Преимущество переливаний эритроцитов, полученных от одного донора, может быть усилено, если донор имеет редкий фенотип антигенов эритроцитов и используется метод криоконсервирования эритроцитов. У пациентов с гематологическими заболеваниями и множественными аллоантителами доступность трансфузий двух единиц эритроцитов для одного донора повышает эффективность деятельности учреждений службы крови в трансфузиологическом обеспечении таких реципиентов. В педиатрической практике полученную аферезом эритроцитную массу можно вручную разделить на единицы малого объема (до 8 единиц), что позволит в достаточной степени корригировать анемию и одновременно снизить число доноров, от которых получены компоненты крови. Еще одним преимуществом автоматически собираемых единиц эритроцитов для реципиентов, требующих регулярных переливаний, является то, что более высокая согласованность объема и содержания эритроцитов в компоненте может привести к более выраженному повышению посттрансфузионного уровня гемоглобина у пациента и, возможно, снизить потребность в переливании эритроцитов. В случае, если при наличии множественных антиэритроцитарных аллоантител у реципиента или редкой группы крови требуется только однократное переливание эритроцитов, а подобранных доноров мало или они недоступны, можно рассмотреть возможность сбора аутологичных эритроцитов методом афереза при условии, что пациент находится в хорошем клиническом состоянии и имеется достаточный уровень гемоглобина.

Снижение рисков заболеваний, передаваемых при переливании крови, за счет ограничения числа доноров может иметь большое преимущество в регионах с высокой распространенностью инфекций, таких как малярия и гепатит В, или во время вспышек инфекционных заболеваний.

Другим инновационным методом заготовки эритроцитных компонентов от доноров является внедрение сочетанного афереза эритроцитов и плазмы или тромбоцитов (мультикомпонентный аферез). Внедрение мультикомпонентного афереза имеет ряд преимуществ:

– рациональное использование донорского потенциала (возможность получения увеличенного объема компонентов крови от одного донора);

– стандартизация качества компонентов крови (единицы компонентов отличаются стабильностью показателей объема, содержания клеток, высокой чистотой и практически не требуют дополнительной обработки);

– экономическая рентабельность (повышает рентабельность процедур афереза за счет получения двух и более единиц компонентов с использованием одного набора расходных материалов и снижения числа лабораторных тестов);

– оптимизация управления запасами компонентов крови (возможность увеличения числа необходимых компонентов крови без привлечения дополнительного числа доноров);

– расширение возможностей заготовки компонентов крови от специальных доноров (возможно более интенсивное накопление компонентов крови опреде-

ленной групповой принадлежности);

– клиническая эффективность и безопасность (стандартное количество активных ингредиентов в компоненте крови (например, гемоглобина), не зависящее от гематокрита разных доноров, снижение антигенной нагрузки и риска передачи гемотрансмиссивных инфекций за счет уменьшения числа доноров, от которых получены компоненты крови для реципиента).

Современные аппараты для цитафереза дают возможность заготавливать различные виды компонентов крови (плазма, тромбоциты, эритроциты) в любой комбинации с их объемами (одна или две терапевтические дозы) и их характеристиками (лейкоредуцированные, с добавочными растворами и др.) за одну процедуру афереза от одного донора.

Доказано, что однократные и повторные донации концентрата тромбоцитов и эритроцитной взвеси (до 250 мл) вызывают у доноров изменения значений гематологических, биохимических, иммунологических и гемостазиологических показателей в пределах безопасного диапазона. Выявленные изменения не зависят от возраста донора. Восстановление значений этих показателей до исходных величин происходит в пределах 60 дней после донации [12, с. 100]. Полученные при таком виде донорства эритроцитные компоненты полностью отвечают требованиям безопасности, изложенных в нормативных документах, и пригодны к клиническому использованию. Между тем, показано, что уровень ферритина у доноров, часто сдающих кровь или эритроциты (3 и более донаций в год), ниже, чем у доноров, сдающих кровь менее 3 раз в год. После сочетанных донаций эритроцитов и тромбоцитов у 70% таких доноров, определяется уровень ферритина ниже нормальных значений. Следовательно, у части доноров после проведения эритроцитафереза формируется скрытое железодефицитное состояние. Эти доноры относятся к группе риска в отношении возникновения НЯ, что требует разработки рекомендаций для профилактики дефицита железа при частых донациях крови или эритроцитов.

Перспективными направления разработки методов получения эритроцитных компонентов крови являются технологии, позволяющие осуществлять разделение консервированной крови в автономных условиях, например в удаленном медицинском учреждении, расположенном в труднодоступной местности, или в полевых условиях. В этих случаях могут быть полезны материалы, разработанные для фильтрационного разделения эритроцитов и плазмы, не требующие специального оборудования и энергоемкого производства.

Таким образом, основными инновационными направлениями развития методов получения эритроцитных компонентов крови являются использование автоматизированных систем переработки консервированной крови на компоненты, многокомпонентное донорство (эритроцитов в сочетании с плазмой или тромбоцитами), аферез двух единиц эритроцитов. Полученные с помощью инновационных технологий эритроцитные компоненты крови полностью соответствуют международным и национальным стандартам качества и безопасности, сохраняют полноценные биологические свойства и имеют ряд преимуществ

при их трансфузии различным категориям пациентов. Остаются нерешенными научные проблемы долгосрочного влияния афереза эритроцитов на организм доноров, а также требуется разработка рекомендаций по профилактике патологических реакций у доноров, часто сдающих кровь и эритроцитные компоненты.

**Список источников**

1. Cid J., Magnano L., Lozano M. Automation of blood component preparation from whole blood collections // Vox Sang. – 2014. – Vol. 107, № 1. – P. 10–18.
2. Lotens A., Najdovski T., Cellier N. et al. New approach to «top-and-bottom» whole blood separation using the multiunit TACSI WB system: quality of blood components // Vox Sang. – 2014. – Vol. 107, № 3. – P. 261–268.
3. Pérez Aliaga A.I., Labata G., Aranda A. et al. Improvement of blood processing and safety by automation and pathogen reduction technology // Transfus. Med. Hemother. – 2021. – Vol. 48. – P. 290–297.
4. Infanti L. Red cell apheresis: pros and cons // ISBT Science Series. – 2018. – Vol. 13. –P. 16–22.
5. Burgstaler E.A., Duffy K.J., Gandh M.J. Double red blood cell collection: comparison of three apheresis systems // Transfusion. – 2016. – Vol. 56, № 9. – P. 2362–2367.
6. Harrison J.F. Automated red cell collection-quality and value // Transfus. Med. – 2006. – Vol. 16. – P. 155–164.
7. Чечеткин А.В., Бессмельцев С.С., Киселева Е.А. и др. Качество тромбоцитных концентратов и эритроцитной взвеси, полученных методом афереза, при сочетанном донорстве // Medline.ru.- 2019.- Т. 20.- С. 156-165. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:http://www.medline.ru/public/art/tom20/art46.html (21.11.2023 г.).
8. Hussein E., Enein A. Clinical and quality evaluation of red blood cell units collected via apheresis versus those obtained manually // Lab. Med. –2014. – Vol. 45. – P. 238–243.
9. Rader A.W., France C.R., Carlson B. Donor retention as a function of donor reactions to whole-blood and automated double red cell collections // Transfusion. – 2007. – Vol. 47.– P. 995–1001.
10. Keshelashvili K., O'Meara A., Stern M. et al. Adverse events and retention of donors of double red cell units by apheresis // Blood Transfus.– 2016. – Vol. 14. – P. 391–399.
11. Чечеткин А.В., Данильченко В.В., Плоцкий Р.А. Проблема железодефицита у доноров крови и пути ее решения // Трансфузиология.– 2020.– № 2. – С. 129– 145.
12. Чечеткин А.В., Бессмельцев С.С., Е. А. Киселева Е.А. и др. Эффективность и безопасность сочетанного афереза тромбоцитов и эритроцитов у доноров // Трансфузиология.– 2020.– № 2. – С. 100 – 107.

УДК 616-006-07:616-036-08

# ГЛАВА 7. МОРФОГЕНЕЗ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ В БОЛЬШЕБЕРЦОВЫЕ КОСТИ БИОГЕННОГО ГИДРОКСИЛАПАТИТА, НАСЫЩЕННОГО МАРГАНЦЕМ

**Астраханцев Дмитрий Андреевич**
кандидат медицинских наук, доцент кафедры
анатомии человека, топографической анатомии и оперативной хирургии
ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России,
г. Луганск,
**Гаврилов Владимир Алексеевич**
доктор медицинских наук, профессор кафедры терапевтической и детской
стоматологии ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России, г. Луганск,
**Пироженко Юлия Алексеевна**
Студентка
ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России, г. Луганск
**Слизская Екатерина Николаевна**
врач-ординатор
ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России, г. Луганск

**Аннотация:** цель исследования - установить закономерности структурных преобразований подвижного комплекса зубочелюстной системы после имплантации в большеберцовые кости биогенного гидроксилапатитного материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, а так же определение основных направлений компенсаторно-приспособительных процессов в этих условиях. Исследование было проведено на 126 белых лабораторных крысах-самцах репродуктивного возрастного периода, распределенных на 3 серии. Первую серию (К) составили интактные животные, вторую (Д) - крысы, которым были сформированы сквозные костные дефекты на границе проксимального метафиза и диафиза большеберцовых костей диаметром 2,2 мм. В 3-й серии (Mn1) проводили имплантацию биогенного гидроксилапатитного материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10% в сформированные сквозные костные дефекты на границе проксимального метафиза и диафиза большеберцовых костей диаметром 2,2 мм. Для того, чтобы иметь возможность оценить, каким образом насыщение имплантируемого в проксимальный отдел большеберцовых костей материала ОК-015 марганцем в концентрации 0,10% влияет на морфогенез нижних челюстей, нами было проведено исследование роста, строения и формообразования нижних челюстей у животных групп Mn1.

Установлено, что марганец является важным элементом, обеспечивающим инкорпорацию ионов кальция в биологические минералы. Также, он обладает способностью конкурировать с кальцием за места в кристаллической решетке биологических минералов. В условиях

нашего эксперимента при резорбции имплантата большеберцовых костей ионы марганца с током крови разносятся сначала в пределах костного органа, а затем и по всему организму и влияют на функциональную активность реактивных отделов исследуемого объекта – мыщелковых хрящей нижних челюстей и одонтобластов нижних резцов. Имплантация в проксимальные отделы диафиза большеберцовых костей материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, сопровождается незначительным уменьшением негативного влияния условий эксперимента на морфогенез нижних челюстей. Это проявлялось слабовыраженной тенденцией к восстановлению темпов роста нижних челюстей к 90 и 180 суткам эксперимента, единичными признаками оптимизации строения мыщелковых хрящей нижних челюстей и нижних резцов, которые проявляются с 30 суток после операции, признаками восстановления макро- и микроэлементного состава костного вещества ветви нижних челюстей к 30 суткам и дентина нижних резцов после 30 суток эксперимента.
**Ключевые слова:** крысы, нижняя челюсть, морфогенеза нижних челюстей, остеоапатит керамический, насыщенный марганцем в концентрации 0,10%.

## MORPHOGENESIS OF THE LOWER JAW AFTER IMPLANTATION IN THE TIBIAL BONES OF BIOGENIC HYDROXYLAPATITE, RICH IN MANGANESE

**Astrakhantsev Dmitry Andreevich,**
**Gavrilov Vladimir Alekseevich,**
**Piroczenko Юлия Алексеевна,**
**Slizskaya Ekaterina Nikolaevna**

**Abstract:**The purpose of the study is to establish the patterns of structural transformations of the movable complex of the dentofacial system after implantation of the biogenic hydroxylapatite material OK-015, saturated with manganese at a concentration of 0.10%, into the tibia, as well as to determine the main directions of compensatory and adaptive processes in these conditions. The study was conducted on 126 white male laboratory rats of reproductive age, divided into 3 series. The first series (K) consisted of intact animals, the second (D) - rats in which through bone defects were formed at the border of the proximal metaphysis and diaphysis of the tibia with a diameter of 2.2 mm. In the 3rd series (Mn1), biogenic hydroxylapatite material OK-015, saturated with manganese at a concentration of 0.10%, was implanted into formed through bone defects at the border of the proximal metaphysis and diaphysis of the tibia with a diameter of 2.2 mm. In order to be able to evaluate how saturation of the OK-015 material implanted into the proximal tibia with manganese at a concentration of 0.10% affects the morphogenesis of the mandibles, we conducted a study of the growth, structure and morphology of the mandibles in animals of the Mn1 group. It has been established that manganese is an important element that ensures the incorporation of calcium ions into biological minerals. Also, it has the ability to compete with calcium for places in the crystal lattice of biological minerals. Under the conditions of our experiment, during resorption of the tibial implant, manganese ions are carried through the bloodstream, first within the bone organ, and then throughout the body and affect the functional activity of the reactive parts of the object under study - the condylar cartilages of the lower jaws and odontoblasts of the lower incisors. Implantation of OK-015 material, saturated with manganese at a concentration of 0.10%, into the proximal parts of the diaphysis of the tibia is accompanied by a slight decrease in the negative effect of experimental conditions on the morphogenesis of the mandibles. This was manifested by a weak tendency to restore the growth rate of the mandibles by 90 and 180 days of the experiment, isolated signs of optimization of the structure of the condylar cartilages of the mandibles and lower incisors, which appeared from 30 days after surgery, signs of restoration of the macro- and microelement composition of the bone substance of the branch of the mandibles by 30 days and dentin of the lower incisors

after 30 days of the experiment.
**Key words:** rats, lower jaw, morphogenesis of the lower jaws, ceramic osteoapatite, saturated with manganese at a concentration of 0.10%.

**Актуальность темы исследования.** Несмотря на токсичность, марганец остается незаменимым микроэлементом, восполнение которого является необходимым при некоторых состояниях. Это в первую очередь касается заболеваний опорно-двигательного аппарата, в частности остеопороза [27]. Известно, что марганец в значительных количествах накапливается в костной ткани, которая, таким образом, является депо данного микроэлемента, который необходим и для нормального функционирования костной ткани [18]. Кроме того марганец активирует щелочную фосфатазу костной ткани, производимую остеобластами [31]. Потеря костной ткани при остеопении и остеопорозе приводит и к потере марганца, что требует восполнения его недостатка.

Имеются также единичные сведения о том, что имплантация в костный дефект биогенного гидроксилапатита, насыщенного марганцем, сопровождается оптимизацией процессов остеоинтеграции и биодеградации имплантированного материала [19]. Также, в экспериментальных исследованиях было показано, что насыщение имплантата марганцем сопровождается сглаживанием системного ответа скелета в ответ на повреждение большеберцовых костей, а также восстановлением роста, строения и формообразования самих большеберцовых костей [9, 10, 12, 14]. В то же время, комплексное изучение морфогенеза нижних челюстей, обладающих уникальным строением, сложными взаимоотношениями с минерализованными тканями зубов и подвергающихся постоянной динамической нагрузке, после имплантации в большеберцовые кости биогенного гидроксилапатитного материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, до сих пор не проводилось.

**Цель исследования** – установить закономерности структурных преобразований нижних челюстей после имплантации в большеберцовые кости биогенного гидроксилапатитного материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, а так же определить основные направления компенсаторно-приспособительных процессов в этих условиях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для нашего исследования мы отобрали 126 крысы-альбиноса мужского пола зрелого возраста репродуктивного возрастного периода. Масса тела животных к началу эксперимента составляла 135-145 г. Животные содержались в виварии ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России.

Манипуляции, необходимые для создания условий эксперимента, осуществлялись согласно требованиям "Европейской Конвенции по защите позвоночных животных, использующихся для экспериментальных и научных целей" (Страсбург, 1986) [28].

Сформированные ранее группы из 7 животных были объединены в 3 группы по 42 особи в каждой в соответствии с производимыми воздействиями. Группа К включала в себя полностью интактных животных, для которых исключались также и ложные манипуляции. Группа Д содержала животных, которым моделировали перелом большеберцовой кости. Моделирование осуществлялось путем нанесения сквозного дефекта круглой формы диаметром 2,2 мм на границе проксимального метафиза и диафиза. Дефект наносился при помощи бормашины с цилиндрическим бором соответствующего диаметра.

В группе Mn1- дефекты заполнялись препаратом ОК-015 насыщенным марганцем в концентрации 0,10%.

Эксперимент проводился в осенне-зимний период; сроки наблюдения определялись стадиями заживления перелома и составляли 7, 15, 30, 60, 90 и 180 суток после нанесения дефекта. По истечению сроков наблюдения, животных, отнесенных к определенному сроку, подвергали декапитации под анестезией согласно «Международным рекомендациям по поводу медико-биологических исследований с использованием лабораторных животных».

Вся работа, включающая эксперимент, забор материала, исследования и обработку данных осуществлялась в многопрофильных научных лабораториях кафедры анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии ФГБОУ ВО ЛГМУ им. Свт. Луки Минздрава России.

Выделенные во время забора материала нижние челюсти очищались от мягких тканей и немедленно взвешивались на аналитических весах ВЛА-200 с точностью до 1 мг. Затем производилось измерение органа при помощи штангенциркуля ШЦ-1-0,05 с точностью до 0,05 мм по специально разработанной методике [11]. Полученные данные использовались для расчета индекса Симона (соотношение максимальной длины и кубического корня массы костного органа, индекс робустности) и высотно-продольного коэффициента (отношение высоты ветви к максимальной длине нижней челюсти) [11, 34].

Челюсти, предназначенные для гистологического исследования, после забора немедленно фиксировались в 10% растворе нейтрального формалина. По завершению фиксации челюсти декальцинировались в 5% растворе муравьиной кислоты, из них вырезались фрагменты, необходимые для гистологического исследования: ветвь нижней челюсти и фрагмент тела челюсти соответствующий зубоальвеолярному сегменту третьего большого коренного зуба. Срезы толщиной 4-6 мкм изготавливались на микротоме МС-2; окраска производилась гематоксилин-эозином [1, 17].

На срезах мыщелкового отростка ветви нижней челюсти исследовался суставной хрящ, который, помимо выполнения своей основной функции, обеспечивает продольный рост нижней челюсти по M. Delatte et al. [26]. Измерялась: общая ширина суставного хряща и ширина отдельных его зон (покоя, пролиферации, гипертрофического хряща, эрозивной зоны и зоны субхондрального остеогенеза). В зоне субхондрального остеогенеза определяли содержание первичной спонгиозы и количество клеток на поверхности костных трабекул [2].

На поперечных срезах зубоальвеолярного сегмента проводились измерения толщины слоя одонтобластов, предентина и минерализованного дентина (все с язычной стороны), а также мезиодистальной толщины нижнего резца (между двумя противоположными цементо-эмалевыми соединениями) [33].

Для химического исследования из челюсти выделялись все зубы, после чего отделялась ветвь от тела. С зубов удалялись эмаль и цемент при помощи бормашины с алмазным бором. На первом этапе химического исследования производилось определение содержания воды, органических и минеральных веществ, которые рассчитывали весовым методом. В начале образцы высушивались до постоянного веса в сухожаровом шкафу при температуре 105°С. Далее производилось озоление фрагментов в муфельной печи при температуре 450-500°С в течение 12 часов [13]. Озоленные фрагменты также взвешивались. Зола растиралась в фарфоровой ступке и помещалась в герметически закрытые микропробирки.

На следующем этапе 10 мг золы растворяли в 2 мл 0,1Н химически чистой соляной кислоты и доводили до объема 25 мл бидистиллированной водой. Полученные растворы использовали для определения содержания натрия, калия, кальция, магния, фтора, меди, железа, цинка и марганца на атомно-абсорбционном фотометре типа "Сатурн"-2 в режиме эмиссии в воздушно-пропановом пламени [17, 55], а также содержание фосфора по Бригсу на электрофотоколориметре КФК-3 [6].

Статистический анализ данных производился с использованием методов вариационной статистики заложенных в программное обеспечение Microsoft Office Excel и Statistica 5.11 [8, 16]. На первом этапе производился анализ цифровых данных на нормальность распределения при помощи критерия Колмогорова-Смирнова [32]. Затем производили построение вариационных рядов цифровых данных, вычисление среднего арифметического отклонения, ошибки среднего отклонения, коэффициента вариации и величины отклонения показателя от контрольных значений в процентах. При нормальном распределении использовался параметрический метод сравнения двух независимых выборок – критерий Стьюдента. При ненормальном распределении использовался критерий Манна-Уитни – непараметрический метод сравнения. Статистически значимым различием считалось при вероятности ошибки 5% ($p<0,05$) [8].

**Морфогенез нижней челюсти у животных контрольной группы**

У животных группы К в ходе наблюдения определялся непрерывный и интенсивный рост нижней челюсти как в продольном, так и в поперечном направлениях.

За период с 7 по 180 сутки наибольшая длина нижней челюсти у контрольных животных увеличилась с 27,89±0,24 мм до 31,67±0,28 мм, а вертикальный размер ветви – с 11,21±0,08 мм до 13,26±0,09 мм. Также, в данный возрастной период набор массы нижней челюстью все еще продолжался и превосходил темпы продольного роста. Благодаря этому индекс Симона уменьшился в ходе наблюдения с 4,16±0,02 у.е. до 4,02±0,02 у.е.

За период с 7 по 180 сутки наблюдения толщина альвеолярного контрфорса увеличивалась с 2,73±0,03 мм до 3,06±0,03 мм, а толщина восходящего контрфорса – с 2,80±0,02 мм до 3,31±0,04 мм. Вместе с этим, в ходе наблюдения увеличивались и высота тела нижней челюсти, и высота альвеолярного отростка – с 3,75±0,04 мм до 4,32±0,03 мм и с 2,24±0,02 мм до 2,89±0,07 мм соответственно.

За период наблюдения ширина нижнего резца при выходе из альвеолы увеличилась с 1,14±0,02 мм до 1,28±0,01 мм, а его высота в этом же месте – с 1,84±0,02 мм до 2,12±0,01 мм. При этом размеры молярного ряда в ходе наблюдения изменялись незначительно: длина молярного ряда с 6,84±0,06 мм до 6,85±0,03 мм, а его ширина – с 1,93±0,02 мм до 1,94±0,02 мм.

Результаты органометрии нижней челюсти у половозрелых животных контрольной группы свидетельствуют о сохранившихся темпах продольного и аппозиционного роста и совпадают с аналогичными результатами, описанными в доступной литературе и с данными наших предшествующих исследований [38]. Интенсивные темпы роста нижней челюсти у контрольных животных обусловлены высокой морфо-функциональной активностью ее основных реактивных отделов – мыщелкового хряща и дентинсекретирующих структур нижнего резца.

За период с 7 по 180 сутки наблюдения общая ширина мыщелкового хряща уменьшилась с 826,56±4,79 мкм до 715,44±3,88 мкм за счет приблизительно равномерного сужения всех его зон. За этот же срок ширина зоны покоя уменьшилась с 176,00±2,06 мкм до 155,11±1,73 мкм, зоны пролиферации – с 126,67±1,42 мкм до 103,64±1,12 мкм, зоны гипертрофического хряща – с 285,94±3,32 мкм до 260,08±3,01 мкм, зоны эрозии – с 138,33±1,44 мкм до 113,17±1,26 мкм, а зоны субхондрального остеогенеза – с 99,61±1,22 мкм до 83,44±0,79 мкм.

Одновременно в зоне субхондрального остеогенеза за обсервационный интервал содержание первичной грубоволокнистой костной ткани уменьшилось с 62,44±0,76% до 57,72±0,60%, а количество клеток на поверхности костных трабекул – с 56,14±0,63 шт/мм$^2$ до 52,06±0,60 шт/мм$^2$.

Полученные нами данные в целом совпадают с описанной в доступной литературе и в наших предшествующих исследованиях возрастной динамикой структуры мыщелкового хряща нижних челюстей у половозрелых крыс контрольной группы и отражают равновесие между процессами костеобразования и резорбции [23].

Проведенное гистологическое исследование нижнего резца на поперечном срезе на уровне 2-го моляра у половозрелых крыс контрольной группы показало, что дентинсекретирующие структуры характеризовались высокой морфо-функциональной активностью, которая по мере увеличения сроков наблюдения постепенно снижалась.

В костном веществе ветви нижней челюсти животных группы К содержание воды и органических веществ в ходе наблюдения уменьшалось с 22,72±0,38% до 20,23±0,67% и с 28,40±0,43% до 26,47±0,38% соответственно.

При этом содержание минеральных веществ в кости возрастало с 48,88±0,37% до 53,30±0,51%.

Вместе с минеральным составом костного вещества у животных группы К с увеличением их возраста изменялся и его макро- и микроэлементный состав.

В костном веществе ветви у животных группы К за период с 7 по 180 сутки наблюдения содержание кальция, магния и фосфора увеличилось с 21,86±0,38% до 24,30±0,33%, с 3,72±0,05% до 4,17±0,06% и с 19,05±0,26% до 20,25±0,29% соответственно. В результате соотношение кальций/фосфор в костном веществе ветви у животных группы К также увеличилось с 1,15±0,03 у.е. до 1,20±0,03 у.е.

При этом вместе с содержанием воды в костном веществе в ходе наблюдения также уменьшалось и содержание гидрофильных элементов – натрия и калия с 1,70±0,03% до 1,33±0,02% и с 1,25±0,02% до 1,04±0,02% соответственно.

Наконец, содержание меди и цинка в костном веществе ветви нижней челюсти животных группы К за период наблюдения увеличилось с 3,35±0,05 мг% до 3,78±0,06 мг% и с 2,64±0,04 мг% до 2,70±0,04 мг%, содержание марганца уменьшилось с 0,74±0,01 мг% до 0,71±0,01 мг%, а содержание железа колебалось в пределах 0,97-0,98 мг%.

Возрастная динамика химического состава дентина нижнего резца у животных контрольной группы в целом была сходной с возрастной динамикой костного вещества.

За период с 7 по 180 сутки наблюдения содержание воды и органических веществ в дентине животных группы К уменьшалось с 17,83±0,34% до 16,54±0,29% и с 19,62±0,30% до 18,34±0,26%, а содержание минеральных веществ увеличивалось с 62,55±0,30% до 65,12±0,41%.

Вместе с этим в ходе наблюдения содержание кальция и фосфора в минеральном компоненте дентина увеличивалось с 26,44±0,38% до 28,66±0,41% и с 13,54±0,21% до 14,31±0,21%, а соотношение кальций/фосфор – с 1,95±0,04 у.е. до 2,00±0,04 у.е. Также, в ходе наблюдения в дентине резца животных группы К увеличивалось и содержание магния и фтора – с 2,15±0,03% до 3,25±0,06% и с 2,00±0,03% до 2,48±0,04%.

Вместе с этим, содержание воды в дентине резца уменьшалось в ходе наблюдения и содержание натрия и калия – с 0,88±0,02% до 0,67±0,01% и с 0,62±0,01% до 0,44±0,01% соответственно.

Наконец, содержание в дентине меди и марганца в ходе наблюдения уменьшалось с 2,88±0,04 до 2,70±0,04 и с 0,75±0,01 до 0,71±0,01, а содержание цинка и железа несколько увеличивалось – с 2,14±0,03 до 2,35±0,03 и с 0,80±0,01 до 0,86±0,01.

Полученные результаты химического состава костного вещества ветви нижних челюстей и дентина нижних резцов у животных группы К соответствуют описанной в литературе возрастной динамике аналогичных показателей у интактных животных и отражают динамическое равновесие между процессами кристаллизации и резорбции [24].

**Рост, строение и формообразование нижней челюсти при нанесении незаполненного дефекта в большеберцовых костях**

Для того, чтобы оценить особенности морфогенеза нижней челюсти при процессах репаративной регенерации, протекающих в одной из удаленных от нее костей, нами было проведено исследование в группе К.

Нанесение сквозного дырчатого дефекта диаметром 2,2 мм в проксимальных отделах диафиза большеберцовой кости сопровождалось замедлением роста нижней челюсти, которое было выражено в ходе всего эксперимента. В ходе эксперимента отклонения нарастали до 30 суток, достигая максимума, после чего начинали постепенно сглаживаться.

Вертикальный размер ветви был меньше значений группы К с 30 по 180 сутки эксперимента на 3,58%, 3,18%, 4,79% и 4,20% соответственно, в результате чего продольно-высотное соотношение было меньше контрольного с 60 по 180 сутки на 2,12%, 3,91% и 3,73%. Вместе с этим толщина восходящего контрфорса была меньше значений группы К к 60 суткам эксперимента на 5,13%, высота тела к 30 суткам – на 5,52%, а высота альвеолярного отростка к 90 суткам – на 5,57%.

Наконец, ширина нижнего резца при выходе из альвеолы была меньше значений группы К с 7 по 60 сутки эксперимента на 6,29%, 6,79%, 5,45% и 5,65%, а его высота к 30 суткам – на 5,17%. Наконец, ширина молярного ряда к 60 суткам эксперимента также была меньше, чем в группе К, на 4,40%, а его длина к 180 суткам – на 3,23%, что, вероятно, объясняется повышенной стираемостью больших коренных зубов.

Таким образом, нанесение сквозного дефекта в проксимальных отделах диафиза большеберцовой кости сопровождалось замедлением продольного и аппозиционного роста нижних челюстей, которое было выражено в ходе всего эксперимента. В ходе наблюдения отклонения нарастали до 30 суток после перфорации, достигая максимума, после чего начинали постепенно сглаживаться.

Замедление темпов роста нижних челюстей было обусловлено снижением в условиях группы Д морфофункциональной активности реактивных структур мыщелкового хряща и дентинсекретирующих структур нижнего резца.

Нанесение дефекта в проксимальных отделах диафиза большеберцовой кости сопровождалось угнетением костеобразовательной функции мыщелкового хряща нижних челюстей, которое было выражено в ходе всего эксперимента. В ходе эксперимента отклонения нарастали до 60 суток, достигая максимума, после чего начинали постепенно сглаживаться.

Общая ширина мыщелкового хряща была меньше аналогичных показателей группы К во все установленные сроки эксперимента на 2,32%, 3,73%, 5,23%, 7,80%, 4,60% и 2,46% соответственно, а ширина зон эрозии и субхондрального остеогенеза – на 4,56%, 4,06%, 7,64%, 9,49%, 5,73% и 5,57%, и на 3,57%, 7,04%, 9,78%, 12,38%, 9,14% и 4,27%. Также ширина зоны покоя была меньше значений группы К к 60 и 90 суткам на 6,26% и 4,31%, ширина зоны пролиферации с 15 по 90 сутки – на 3,95%, 5,34%, 9,55% и 6,87% соответствен-

но, а ширина зоны гипертрофического хряща с 15 по 60 сутки – на 3,77%, 3,97% и 5,56%. При этом содержание первичной грубоволокнистой костной ткани в зоне субхондрального остеогенеза было меньше значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 4,67%, 8,52%, 8,60%, 9,93% и 7,58% соответственно, а чмсло клеток на поверхности костных трабекул к 7, 30 и 60 суткам – на 3,96%, 3,63% и 5,34%.

Таким образом, нанесение сквозного дефекта в проксимальных отделах диафиза большеберцовых костей сопровождалось угнетением костеобразовательной функции мыщелкового хряща, которое было выражено в ходе всего эксперимента и достигало максимума к 60 суткам после операции.

Максимальные по амплитуде отклонения регистрировались для ширины зоны субхондрального остеогенеза и содержания первичной грубоволокнистой костной ткани в ней.

Полученные результаты в целом совпадают с данными предшествующих наших исследований и являются проявлением системной реакции скелета на «синдром перелома» [10, 12].

Нанесение сквозного дефекта в проксимальных отделах диафиза большеберцовой кости сопровождалось и угнетением морфофункционального состояния дентинсекретирующих структур нижнего резца, которое было выражено вплоть до 90 суток эксперимента. В ходе эксперимента отклонения нарастали преимущественно до 60 суток, достигая максимума, после чего начинали сглаживаться.

Ширина слоя одонтобластов была меньше аналогичных значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 4,20%, 4,30%, 4,48%, 4,63% и 5,75% соответственно, а ширина слоя предентина с 7 по 60 сутки – на 3,86%, 7,22%, 6,31% и 4,23%. Также, ширина слоя минерализованного дентина к 90 суткам была меньше значений группы К на 4,63%, а общая ширина всех слоев дентина к 15, 30 и 90 суткам – на 4,57%, 3,75% и 4,16%.

При этом мезиодистальный размер нижнего резца также был меньше значений группы К с 15 по 60 сутки эксперимента на 2,94%, 2,90% и 3,10% соответственно.

Таким образом, нанесение сквозного дефекта в проксимальных отделах диафиза большеберцовой кости сопровождалось угнетением морфофункционального состояния дентинсекретирующих структур нижнего резца, которое было выражено до 90 суток эксперимента и достигало максимума преимущественно к 60 суткам после операции. Максимальные по амплитуде отклонения регистрировались для ширины слоев одонтобластов и предентина.

Содержание воды в костном веществе было больше аналогичных значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 10,12%, 12,85%, 16,05%, 13,35% и 8,05% соответственно. При этом содержание органических веществ было меньше значений группы К к 7, 15, 30 и 90 суткам эксперимента на 4,75%, 4,23%, 7,05% и 6,89% соответственно, а содержание минеральных веществ с 15 по 60 сутки – на 3,51%, 3,11% и 5,65%.

При этом достоверные отличия макро- и микроэлементного состава костного вещества от аналогичных показателей у животных группы К регистрировались в ходе всего периода эксперимента

Содержание кальция в костном веществе было меньше значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 7,01%, 7,83%, 9,94%, 7,07% и 4,32% соответственно, а содержание фосфора к 30 суткам – больше на 4,79%. В результате соотношение кальций/фосфор было меньше аналогичных значений группы К с 7 по 60 сутки эксперимента на 8,64%, 10,71%, 13,96% и 10,19% соответственно. Вместе с увеличением содержание воды доля натрия в костном биологическом минерале была больше значений группы К с 7 по 180 сутки эксперимента на 9,58%, 10,94%, 11,96%, 8,46%, 6,78% и 5,50% соответственно, доля калия в те же сроки – на 6,72%, 9,07%, 4,60%, 5,71%, 6,56% и 6,58%, а доля магния с 7 по 60 сутки – на 5,84%, 7,68%, 6,61% и 6,15%.

Наконец, содержание меди в костном веществе было меньше значений группы К во все установленные сроки эксперимента на 7,20%, 7,56%, 10,52%, 8,63%, 5,84% и 5,15% соответственно, содержание марганца с 7 по 60 сутки – на 8,11%, 9,94%, 7,74% и 7,12%, а содержание цинка к 15 и 30 суткам – на 7,03% и 4,77%. При этом содержание железа в течение первых 60 суток эксперимента было несколько выше, чем в группе К, но достоверным отличие было лишь к 15 суткам (5,06%).

Изменения химического состава дентина нижнего резца в условиях нанесения дефекта в большеберцовых костях регистрировались преимущественно в период с 15 по 180 сутки эксперимента.

При этом содержание воды в дентине было больше аналогичных значений группы К во все установленные сроки эксперимента на 9,12%, 19,96%, 28,76%, 18,73%, 15,82% и 14,45% соответственно. В этих условиях содержание органических веществ в дентине было меньше контрольного с 30 по 60 сутки на 4,53% и 5,38%, а содержание минеральных веществ с 15 по 180 сутки - на 4,84%, 6,54%, 3,49%, 3,30% и 3,37% соответственно.

Также, содержание кальция в биологическом минерале дентина было меньше значений группы К к 60 суткам эксперимента на 5,02%, а содержание фосфора к 90 суткам – больше на 4,97%. Однако, соотношение кальций/фосфор при этом было меньше значений группы К с 30 по 90 сутки на 7,05%, 9,19% и 8,38% соответственно, а содержание фтора с 15 по 180 сутки – на 8,56%, 7,13%, 8,06%, 9,78% и 6,62%. Вместе с этим содержание натрия в биологическом минерале дентина было больше значений группы К с 15 по сутки эксперимента на 5,92%, 8,97%, 16,36% и 17,44% соответственно, содержание калия с 15 по 180 сутки – на 10,53%. 9,65%, 17,71%, 20,47% и 14,33%, а содержание магния к 15, 60 и 90 суткам – на 6,33%, 10,57% и 7,79%.

Содержание меди в дентине было меньше значений группы К с 15 по 90 сутки эксперимента на 8,69%, 7,03%, 9,16% и 5,36% соответственно, а содержание марганца с 15 по 60 и к 180 суткам – на 9,19%, 8,40%, 9,36% и 7,46%. Меньше значений группы К были также: содержание цинка с 15 по 180 сутки –

на 6,99%, 4,98%, 10,19%, 8,22% и 4,99%, и содержание железа к 30, 60 и 180 суткам – на 9,32%, 6,89% и 4,64%.

Таким образом, изменения гистологического строения нижних челюстей сопровождались гипергидратацией, деминерализацией и снижением содержания органических веществ в костном веществе ветви нижней челюсти и в дентине нижнего резца, с соответствующим дисбалансом их макро- и микроэлементного состава в период с 7 по 90 сутки эксперимента для костного вещества и с 15 по 180 сутки для дентина.

**Морфогенез нижней челюсти при имплантации в большеберцовые кости биогенного гидроксилапатита, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%**

Насыщение имплантата марганцем в концентрации 0,10% (группа Mn1) сопровождалось некоторым сглаживанием неблагоприятного влияния условий эксперимента на темпы роста НЧ.

В сравнении с группой К максимальная длина нижних челюстей к 7 суткам эксперимента была меньше на 3,20%, а индекс Симона – на 3,70%. Также, толщина альвеолярного и восходящего контрфорсов была меньше значений группы К к 7 и 15 суткам эксперимента на 4,71% и 7,24% и на 3,57% и 5,24% соответственно, а высота альвеолярной дуги к 30 суткам – на 4,67%. Также, ширина и высота нижнего резца при выходе из альвеолы к 15 суткам была меньше значений группы К на 9,26% и 6,13%, а ширина молярного ряда к 30 суткам – на 4,06%.

После 30 суток эксперимента достоверные отличия показателей остеометрии нижних челюстей у животных группы Mn1 от показателей группы Д не определялись.

Сравнение результатов остеометрии нижних челюстей с аналогичными данными группы Д показало, что к 7 суткам эксперимента индекс Симона был меньше контрольного на 3,19%, а к 15 суткам – толщина альвеолярного контрфорса на 4,77%. К 30 суткам эксперимента достоверные отличия от группы Д не определялись, а позднее уже наблюдались явления ускорения темпов роста нижних челюстей.

Вертикальный размер ветви нижних челюстей был больше значений группы Д с 60 по 180 сутки эксперимента на 3,64%, 4,86% и 4,72%, а высотно-продольный коэффициент – на 2,04%, 2,61% и 4,83%. При этом толщина альвеолярного и восходящего контрфорсов была больше значений группы Д к 60 суткам на 5,09% и 7,53%, а высота альвеолярной дуги к 90 суткам – на 8,71%. Наконец, длина молярного ряда к 180 суткам была больше контрольной на 3,88%.

Таким образом, имплантация в большеберцовые кости материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, сопровождалась слабовыраженной тенденцией к восстановлению темпов роста нижних челюстей к 90 и 180 суткам эксперимента.

Изменения ростовых процессов в условиях группы Mn1 были предопределены изменениями морфофункциональной активности мыщелковых хрящей и дентинсекретирующих структур нижних резцов.

Насыщение имплантата марганцем в концентрации 0,10% сопровождалось незначительными явлениями восстановления гистологического строения мыщелкового хряща нижних челюстей, которые проявлялись после 30 суток эксперимента.

Общая ширина мыщелкового хряща нижних челюстей была меньше значений группы К с 7 по 60 сутки эксперимента на 5,54%, 4,75%, 3,53% и 3,24% соответственно, а ширина зон гипертрофического хряща и эрозии – на 5,28%, 4,60%, 3,69% и 3,87%, и на 6,85%, 6,20%, 5,32% и 5,15%. Также, ширина зоны пролиферации была меньше аналогичных значений группы К с 7 по 30 сутки эксперимента на 7,15%, 4,88% и 3,94%, а ширина зоны субхондрального остеогенеза к 7 и 15 суткам – на 8,11% и 8,00%.

Наконец, содержание первичной грубоволокнистой ткани в зоне субхондрального остеогенеза было меньше значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 6,45%, 6,29%, 6,70%, 7,04% и 5,29% соответственно, а численность клеток на поверхности трабекул к 7 и 15 суткам – на 8,71% и 4,31%.

Сравнение результатов гистоморфометрии мыщелкового хряща нижних челюстей подопытных животных группы Mn1 с данными группы Д показало, что к 7 суткам влияние условий эксперимента манифестировало, но с 30 суток определялись признаки более быстрого восстановления.

К 7 суткам эксперимента общая ширина мыщелкового хряща была меньше значений группы Д на 3,30%, а ширина зон покоя, гипертрофического хряща и субхондрального остеогенеза – на 4,14%, 3,83% и 4,71% соответственно. Также, число клеток на поверхности трабекул в зоне субхондрального остеогенеза было меньше контрольного на 4,95%.

В дальнейшем общая ширина мыщелкового хряща нижних челюстей с 60 по 180 сутки эксперимента была больше значений группы Д на 4,94%, 3,74% и 2,48% соответственно, а ширина зоны субхондрального остеогенеза с 30 по 180 сутки – на 7,83%, 10,46%, 7,04% и 5,84%. Также, ширина зон пролиферации и эрозии была больше значений группы Д с 60 по 180 сутки на 7,87%, 6,91% и 3,61% и на 4,80%, 3,79% и 4,29% соответственно, а ширина зоны покоя к 60 суткам – на 5,34%. Также, число клеток на поверхности трабекул в зоне субхондрального остеогенеза к 60 суткам эксперимента было больше значений группы Д на 4,18%.

Насыщение имплантата марганцем в концентрации 0,10% сопровождалось и признаками восстановления морфофункциональной активности дентинсекретирующих структур нижних резцов.

Ширина слоя одонтобластов была меньше аналогичных значений группы К с 7 по 90 сутки эксперимента на 5,95%, 7,23%, 10,16%, 5,47% и 7,75% соответственно, а ширина слоя предентина – на 5,69%, 12,49%, 13,99%, 7,06% и 5,02%. При этом общая ширина всех слоев дентина также с 7 по 90 сутки экс-

перимента была меньше значений группы К на 3,33%, 5,82%, 6.42%, 2,96% и 4,60% соответственно, а ширина слоя минерализованного дентина к 15, 30 и 90 суткам – на 3,79%, 4,25% и 4,48%. Наконец, мезиодистальный размер нижних резцов был меньше аналогичных значений группы К с 15 по 60 сутки эксперимента на 4,36%, 5,15% и 3,62% соответственно.

В сравнении с группой Д, гистоморфометрические параметры нижних резцов подопытных животных группы Mn1 имели отличия лишь к 15 и 30 суткам эксперимента. При этом, ширина слоя предентина к 15 и 30 суткам была меньше значений группы Д на 5,68% и 8,20%, а ширина слоя одонтобластов и общая ширина всех слоев дентина к 30 суткам – на 5,95% и 2,77%.

Изменения морфофункциональной активности мыщелковых хрящей нижних челюстей и гистологического строения нижних резцов в условиях группы Mn1 сопровождались и изменениями химического состава костного вещества ветви нижних челюстей и дентина нижних резцов.

В костном веществе ветви нижних челюстей содержание воды к 7 суткам эксперимента было больше значений группы К на 6,46%, а содержание органических веществ к 30 суткам – меньше на 5,32%. Однако, содержание минеральных веществ к 30 суткам было больше значений группы К на 3,81%. Позднее достоверные отличия минерального состава костного вещества ветви нижних челюстей у животных группы Mn1 от аналогичных показателей группы К не регистрировались.

При этом содержание кальция в костной золе ветви было меньше аналогичных значений группы К к 7 и 15 суткам на 9,37% и 8,92%, а содержание фосфора – больше на 7,36% и 7,19%. В результате соотношение кальций/фосфор было меньше значений группы К с 7 по 30 сутки эксперимента на 15,64%, 14,99% и 7,60% соответственно.

Также, содержание натрия в костной золе было больше значений группы К с 7 по 60 сутки эксперимента на 19,24%, 21,28%, 25,09% и 8,09%, а содержание калия и магния с 7 по 30 сутки – на 15,95%, 23,49% и 15,13% и на 9,69%, 17,18% и 12,37% соответственно.

Наконец, содержание в костной золе ветви меди и цинка с 7 по 30 сутки эксперимента было меньше аналогичных значений группы К на 10,01%, 18,51% и 12,59% и на 4,98%, 12,50% и 8,68% соответственно, а содержание марганца к 7 и 15 суткам – на 9,65% и 4,48%. Также, к 30 суткам эксперимента содержание железа было больше значений группы К на 5,11%.

При сравнении результатов химического анализа костного вещества нижних челюстей у подопытных животных группы Mn1 с таковыми в группе Д установили, что содержание воды было меньше контрольного с 15 по 90 сутки эксперимента на 6,43%, 15,50%, 13,01% и 6,99% соответственно. Также, содержание минеральных веществ было больше аналогичных значений группы Д с 15 по 60 сутки эксперимента на 3,20%, 7,14% и 8,02% соответственно, а содержание органических веществ к 90 и 180 суткам – на 5,91% и 5,41%.

Макро- и микроэлементный состав костного вещества ветви нижних челю-

стей у подопытных животных группы Mn1 в сравнении с группой Д характеризовался манифестацией дестабилизации с 7 по 30 сутки эксперимента и оптимизацией восстановления в дальнейшем.

К 7 суткам эксперимента содержание фосфора было больше значений группы Д на 5,59%, а соотношение кальций/фосфор – меньше на 7,66%. Также, содержание в костном веществе нижних челюстей натрия и калия было больше значений группы Д с 7 по 30 сутки эксперимента на 8,82%, 9,32% и 11,72% и на 8,64%, 13,22% и 10,07%, а содержание магния к 15 и 30 суткам – на 8,82% и 5,41%. При этом содержание меди, цинка и железа к 15 суткам эксперимента было меньше аналогичных значений группы Д на 11,85%, 5,88% и 6,09% соответственно.

Однако, содержание в костной золе нижних челюстей марганца с 15 по 60 сутки эксперимента было больше значений группы Д на 6,06%, 11,53% и 10,14%. С 30 по 90 сутки эксперимента содержание кальция в костной золе нижних челюстей было больше значений группы Д на 6,75%, 4,55% и 5,05%, а соотношение кальций/фосфор к 30 и 60 суткам – на 7,38% и 8,78%. Также, содержание натрия и калия было меньше значений группы Д к 90 и 180 суткам эксперимента на 6,91% и 4,60% и на 6,76% и 7,98% соответственно, а содержание магния к 60 суткам – на 4,62%. Наконец, содержание меди в костной золе было больше значений группы Д с 60 по 180 сутки эксперимента на 10,80%, 4,70% и 6,22%.

Содержание воды в дентине было больше значений группы К с 7 по 60 сутки эксперимента на 14,60%, 12,32%, 8,62% и 8,20% соответственно, а содержание минеральных веществ – меньше на 4,21%, 4,81%, 2,70% и 2,61%. Позднее достоверные отличия показателей минерального состава от значений группы К не регистрировались.

Достоверные отличия содержания кальция, фосфора, а также соотношения кальций/фосфор от значений группы К в ходе наблюдения также не определялись. При этом содержание в золе дентина нижних резцов натрия и калия было больше значений группы К с 15 по 90 сутки эксперимента на 16,28%, 21,03%, 37,63% и 11,55% и на 27,82%, 27,28%, 36,00% и 18,40% соответственно, а содержание магния с 15 по 60 сутки – на 16,35%, 16,40% и 14,91%.

Также, содержание в золе дентина нижних резцов марганца, цинка и фтора было меньше аналогичных значений группы К с 15 по 60 сутки эксперимента на 3,94%, 8,59% и 5,62%, на 12,52%, 11,82% и 9,54% и на 11,51%, 11,90% и 13,39% соответственно, а содержание меди к 15 и 60 суткам – на 13,19% и 13,30%. В этих условиях содержание железа в дентине нижних резцов к 7 суткам эксперимента было больше значений группы К на 5,88%, а в период с 15 по 60 сутки – меньше на 7,38%, 4,33% и 8,07%.

При сравнении результатов химического анализа дентина нижних резцов у подопытных животных группы Mn1 с таковыми в группе Д установили, что содержание воды было меньше контрольного с 15 по 180 сутки эксперимента на 6,36%, 15,64%, 8,87%, 12,74% и 13,69% соответственно. При этом содержание

органических веществ было больше аналогичных значений группы Д с 30 по 90 сутки эксперимента на 5,88%, 7,05% и 5,55% соответственно, а содержание минеральных веществ к 30 и 180 суткам – на 4,12% и 2,95%.

При этом содержание калия в дентине было больше значений группы Д с 7 по 60 сутки эксперимента на 6,90%, 15,64%, 16,25% и 15,53% соответственно, содержание натрия с 15 по 60 сутки – на 9,78%, 11,08% и 18,28%, а содержание магния к 15 и 30 суткам – на 9,42% и 11,98%. Также, содержание цинка в дентине нижних резцов к 15 и 30 суткам эксперимента было меньше значений группы Д на 5,95% и 7,20%, содержание фтора к 30 и 60 суткам – на 5,15% и 5,80%, а содержание меди и железа к 15 суткам – на 4,93% и 4,42%.

Однако, к 90 суткам эксперимента содержание фосфора в дентине было меньше значений группы Д на 5,53%, содержание фтора к 90 и 180 суткам – на 11,71% и 7,39%, а соотношение кальций/фосфор - больше на 6,11%. Также, содержание натрия и магния в дентине к 90 суткам эксперимента было меньше значений группы Д на 5,01% и 5,14%, а содержание калия к 180 суткам – на 10,54%. Наконец, содержание в дентине нижних резцов железа к 30 и 90 суткам эксперимента было больше значений группы Д на 5,50% и 6,42%, содержание цинка к 90 и 180 суткам – на 8,18% и 5,25%, а содержание меди к 90 суткам – на 5,17%.

Следует отметить, что содержание марганца в дентине было больше значений группы Д к 15, 90 и 180 суткам на 5,79%, 5,71% и 5,25% соответственно.

Таким образом, имплантация в проксимальные отделы диафиза большеберцовых костей материала ОК-015, насыщенного марганцем в концентрации 0,10%, сопровождается незначительным уменьшением негативного влияния условий эксперимента на морфогенез нижних челюстей. Это проявлялось слабовыраженной тенденцией к восстановлению темпов роста нижних челюстей к 90 и 180 суткам эксперимента, единичными признаками оптимизации строения мыщелковых хрящей нижних челюстей и нижних резцов, которые проявляются с 30 суток после операции, признаками восстановления костного вещества ветви нижних челюстей к 30 суткам и дентина нижних резцов после 30 суток эксперимента, стабилизацией химического состава после 30 суток эксперимента.

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленное экспериментальное исследование было проведено на 126 белых лабораторных крысах-самцах зрелого возраста репродуктивного возрастного периода, распределенных на 6 серий. Первую серию (К) составили интактные животные, вторую (Д) - крысы, которым были сформированы сквозные костные дефекты на границе проксимального метафиза и диафиза большеберцовых костей диаметром 2,2 мм. В 3-й серии (Mn1) проводили имплантацию ОК-015, насыщенного марганцем в концентрациях 0,10%.

У интактных животных группы К наблюдались достаточно высокие темпы продольного и аппозиционного роста нижних челюстей, которые поддерживались значительной морфофункциональной активностью мыщелковых хрящей и

дентинсекретирующих структур нижних резцов.

Данные результаты полностью соответствуют описанной в литературе динамике исследуемых показателей у интактных крыс [4, 5, 29, 36].

Нанесение сквозного дефекта в большеберцовых костях у животных группы Д при сохранении функциональной нагрузки на оперированные конечности сопровождалось замедлением темпов как продольного, так и аппозиционного роста нижних челюстей, которое было выражено в течение всего периода эксперимента. Это сопровождалось сужением мыщелкового хряща нижних челюстей в период с 7 по 180 сутки эксперимента с равномерным сужением всех его зон, а также снижением содержания первичной грубоволокнистой костной ткани и удельного числа остеобластов в зоне субхондрального остеогенеза и явлениями угнетения дентиногенеза вплоть до 90 суток.

Изменения гистологического строения нижних челюстей сопровождались гипергидратацией, деминерализацией и снижением доли органических веществ в ветви нижних челюстей и в дентине нижних резцов, с пропорциональным дисбалансом их химического состава в период с 7 по 90 сутки эксперимента для костного вещества и с 15 по 180 сутки для дентина.

Динамические изменения исследуемых морфологических показателей нижних челюстей и нижних резцов после перфорации большеберцовых костей совпадают с изменениями, полученными при использовании аналогичных моделей, и описанными в доступной литературе [7, 20, 21]. Данные изменения являются отражением того факта, что при перфорации большеберцовых костей формируется структурный ответ на уровне целостной костной системы по типу так называемого “синдрома перелома”, для которого характерен комплекс изменений гормонального фона организма с целью мобилизации кальция из депо [21, 25, 30].

Для того, чтобы иметь возможность оценить, каким образом насыщение имплантируемого в проксимальный отдел большеберцовых костей материала ОК-015 марганцем в концентрации 0,10% влияет на морфогенез нижних челюстей, нами было проведено исследование роста, строения и формообразования нижних челюстей у животных групп Mn1.

Насыщение имплантата марганцем в концентрации 0,10% сопровождалось лишь единичными признаками оптимизации гистологического строения мыщелковых хрящей нижних челюстей и нижних резцов, которые проявлялись после 30 суток эксперимента.

Согласно результатам исследований M. Clegg [35], ионы марганца оказывают влияние на активности оси гормон роста/инсулиноподобный фактор роста, которая обеспечивает процессы линейного роста костей, оказывая на нее стимулирующий эффект. В условиях нашего эксперимента при резорбции имплантата большеберцовых костей ионы марганца с током крови разносятся сначала в пределах костного органа, а затем и по всему организму, и влияют на функциональную активность реактивных отделов исследуемого объекта – мыщелковых хрящей нижних челюстей и одонтобластов нижних резцов.

T. Landete-Castillejos и соавт. (2012) показали, что марганец является важным эссенциальным элементом, обеспечивающим инкорпорацию ионов кальция в биологические минералы [22]. Также, он обладает способностью конкурировать с кальцием за места в кристаллической решетке биологических минералов.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Полученные сведения о морфофункциональных и адаптационных изменениях в нижних челюстях у половозрелых белых крыс, происходящие после имплантации в проксимальные отделы диафизов большеберцовых костей гидроксилапатитного материала ОК-015, насыщенного марганцем расширяют и углубляют представления о реакции зубочелюстной системы на воздействие эндогенных факторов. Данные результаты позволяют оценить общую направленность компенсаторно-приспособительных изменений в костной и зубочелюстной системах и дополняют соответствующие разделы учебного материала на кафедрах анатомии человека, гистологии, цитологии и эмбриологии, травматологии и ортопедии, стоматологии, а также челюстно-лицевой хирургии.

2. Поскольку насыщение имплантируемого в дефект гидроксилапатитного материала ОК-015 марганцем в концентрации 0,10% сопровождается более быстрым восстановлением, в сравнении с контрольной группой, исследуемых морфологических параметров нижних челюстей, следует рассмотреть возможность применения марганца для создания костно-пластического материала с целью использования в практике челюстно-лицевой хирургии, травматологии и ортопедии, онкологии.

## Список источников

1. Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия / Г. Г. Автандилов. – М.: «Медицина», 1990. – 382 с.

2. Автандилов Г. Г. Основы количественной патологической анатомии / Г. Г. Автандилов. – М.: «Медицина», 2002. – 240 с.

3. Брицке Э. М. Атомно-абсорбционный спектральный анализ / Брицке Э. М. М.: Химия, 1982. - 244 с.

4. Дедух Н. В. Скелетные ткани. Руководство по гистологии Н. В./ Дедух, Е. Я. Панков. – СПб.: «СпецЛит», 2001. – 214 с.

5. Ковешников, В. Г. Скелетные ткани: хрящевая ткань, костная ткань / В. Г. Ковешников, М. Х. Абакаров, В. И. Лузин. – Луганск: Издательство Луганского госмедуниверситета, 2000. – 154с.

6. Колб В. Г. Клиническая биохимия / В. Г. Колб, В. С. Камышников. – Минск: Беларусь, 1976. – С. 209–211.

7. Корж Н.А. Репаративная регенерация кости: современный взгляд на проблему. Системные факторы, влияющие на заживление перелома/ Н.А. Корж, Н.В. Дедух, О.А. Никольченко // Ортопедия, травматология и протезирование. - 2006. - №2. - С. 93-99.

8. Лапач С. Н. Статистические методы в медико–биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В.Чубенко, П. Н. Бабич. – Киев: «Морион», 2000. – 320 с.

9. Лубенец А.А. Морфо-функциональное состояние диафизов плечевых костей после имплантации в болыпеберцовые кости гидроксилапатита, насыщенного марганцем / А.А. Лубенец, Л.И. Чистолинова // Український морфологічний альманах. - 2015. - Т. 13, № 2. - С. 88-92.

10. Лузин В.И. Гистологическое строение проксимального эпифизарного хряща большеберцовой кости при имплантации в неё гидроксилапатита, насыщенного марганцем в различных концентрациях / В.И. Лузин, Ю.С. Пляскова // Український медичний альманах. – 2012. – Том 15, №2. – С. 95-98.

11. Лузин В. И. Методика остеометрии нижней челюсти / В. И. Лузин // Український медичний альманах. – 2005. – Т. 8, № 3. – С. 123–124.

12. Лузин В. И. Особенности прочности плечевой кости при имплантации в большеберцовую кость гидроксилапатитного материала ОК–015, легированного марганцем / В. И. Лузин, А. А. Лубенец // Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. – 2009. – Т. 7, № 94. – С. 306–316.

13. Новиков Ю. В. Применение спектрографии для определения минерального состава костной ткани при гигиенических исследованиях / Ю. В. Новиков, А. В. Аксюк, А. М. Ленточников // Гигиена и санитария. - 1969. - №6. - С. 72-76.

14. Пляскова Ю.С. Гистологическое строение диафиза большеберцовой кости при имплантации в неё гидроксилапатита, насыщенного марганцем в различных концентраціях/ Ю.С. Пляскова // Український морфологічний альманах. – 2012. – Том 10, №2. – С. 193-195.

15. Полуэктов Н. С. Методы анализа по фотометрии пламени / Н. С. Полуэктов. – М.: «Химия», 1967. – 307 с.

16. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. – М.: «Медиа Сфера», 2002. – 312 с.

17. Саркисов Д. С. Микроскопическая техника: Руководство для врачей и лаборантов / Д. С. Саркисов, Ю. Л. Перов. – М.: «Медицина», 1996. – 544 с.

18. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека/ А.В. Скальный. – М.: Издательский дом «Оникс 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.

19. Химический состав регенерата, формирующегося при имплантации в большеберцовую кость биогенного гидроксилапатита, легированного марганцем / В.И. Лузин, А.А. Лубенец, Д.А. Астраханцев, Ю.С. Пляскова // Український морфологічний альманах. - 2009. - Т. 7, № 2. - С. 75-77.

20. Хисматуллина З. Н. Факторы, оказывающие влияние на метаболизм костной ткани и приводящие к заболеваниям костной системы / З. Н. Хисматуллина // Вестник технологического университета. - 2015. - Т.18, №22. – С. 165-172.

21. Adamopoulos I. E. Inflammation in bone physiology and pathology / I. E. Adamopoulos // Curr. Opin. Rheumatol. – 2018. – Vol. 30(1). – P. 59–64.

22. Alternative hypothesis for the origin of osteoporosis: the role of Mn / T. Landete-Castillejos, I. Molina-Quilez, J. A. Estevez, [et al.] // Front. Biosci. (Elite Ed.). – 2012. – Vol. 4. – P. 1385-1390.

23. Bala Y. Bone mineralization: from tissue to crystal in normal and pathological contexts / Y. Bala, D. Farlay, G. Boivin // Osteoporos. Int. – 2013. – Vol. 24(8). – P. 2153-2166.

24. Boskey A.L. Bone quality changes associated with aging and disease: a review / A.L. Boskey, L. Imbert // Ann. N Y Acad. Sci. – 2017. – Vol. 1410(1). – P. 93–106.

25. Buckingham J.C. Hypothalamo-pituitary responses to trauma / J.C. Buckingham // Br Med Bull. – 1985. – Vol. 17. – P. 203-211.

26. Delatte M. Regulatory effects of FGF–2 on the growth of mandibular condyles and femoral heads from newborn rats / M. Delatte, J. W. Von den Hoff, A. M. Kuijpers-Jagtman // Arch. Oral. Biol. – 2005. – V. 50, № 11. – P. 959–969.

27. Effect of manganese on neural endocrine hormones in serum of welders and smelters / Shi-Yan Ouab, Hai-Lan Luoc, R. B.Mailmand, [et al.] // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2018. – Vol. 50. – P. 1-7.

28. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose: Council of Europe 18.03.1986. - Strasbourg, 1986. - 52 p.

29. Geoghegan I.P. Integrins in Osteocyte Biology and Mechanotransduction / D.A. Hoey, L.M. McNamara // Curr. Osteoporos. Rep. – 2019. – Vol. 17(4). – P. 195-206.

30. Gu Qiaoli Macrophages and bone inflammation / Qiaoli Gu, Huilin Yang, Qin Shi J. Orthop. Translat. – 2017. – Vol. 10. – P. 86–93.

31. Interactions of iron with manganese, zinc, chromium, and selenium as related to prophylaxis and treatment of iron deficiency / G. Bjørklund, J. Aaseth, A. V. Skalny, [et al.] // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2017. – Vol. 41. – P. 41-53.

32. Justel A. A. A multivariate Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit / A. A. Justel, D. Pena, R. Zamar // Statistics and probability letters. – 1997. – Vol. 35 (3). – P. 251-259.

33. Kuijpers M. H. Review article. The rat incisor in toxicologic pathology / M. H. Kuijpers, A. J. van de Kooij, P. J. Slootweg // Toxicol. Pathol. – 1996. – V. 24, № 3. – P. 346–360.

34. Simon M. R. The effects of simulated increases in body weight for 60 days on robusticity and mineral content of limb bones of hypophysectomized rats / M. R. Simon, K. R. Holmes, A. M. Olsen // Anat. Rec. – 1984. – V. 210 (2). – P. 333–341

35. The influence of manganese deficiency on serum IGF-1 and IGF binding proteins in the male rat / Clegg M.S., Donovan S.M., Monaco M.H., [et al.] // Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. - 1998. – Vol. 219. – P.41-47.

36. Tiede-Lewis L.M. Changes in the osteocyte lacunocanalicular network with aging / L.M. Tiede-Lewis, S.L. Dallas // Bone. – 2019. – Vol. 122. – P. 101-113.

# РАЗДЕЛ III. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ: НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 51

# ГЛАВА 8. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ И МНОГОМЕРНЫЕ ПРОСТРАНСТВА

**Овчинников Анатолий Николаевич**
преподаватель физики и математики
пенсионер

**Аннотация:** в этой работе изучается вопрос о том, как нам следует относиться в науках о законах природы к многомерным пространствам. Показано, что при изучении законов природы, нам необходимо и достаточно применение пространства размерности не выше трех. Изучение пространств с большей размерностью представляет интерес только для математиков, интересующихся лишь формальными соотношениями. Попытка применить к изучению законов природы пространства размерности выше трех дает лишь иллюзорную картину того, что происходит в нашем мире.
**Ключевые слова**: пространство, время, скорость, четырехмерное пространство – время.

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES AND MULTIDIMENSIONAL SPACES**

**Ovchinnikov Anatoly Nikolaevich**

**Abstract**: This paper examines the question of how we should treat multidimensional spaces in the sciences of the laws of nature. It is shown that when studying the laws of nature, it is necessary and sufficient for us to use a space of dimension no higher than three. The study of spaces with higher dimensions is of interest only to mathematicians interested only in formal relations. An attempt to apply dimensions higher than three to the study of the laws of nature gives only an illusory picture of what is happening in our world.
**Keywords**: space, time, velocity, four–dimensional spacetime.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В физико-математических науках уже давно используется понятие n-мерного пространства, то есть такого, размерность которого выше трех. Но также, нам хорошо известно, что размерность реального пространства, в котором мы живем не выше трех. В таком случае, возникает вопрос: а не противоречит ли одно другому? Но математики и физики-теоретики предпочитают не обсуждать вопрос об этом противоречии и этим явно намекают на то, что никакого противоречия здесь нет. Но намекать это одна из форм молчаливого согласия с тем, что противоречия нет. А вот доказать, что противоречия нет, это совсем другое дело. Цель этой статьи: выяснить, как нам следует относиться к научным изысканиям, где используется понятие пространства размерности выше трех. Далее я буду говорить только о линейных пространствах, что нисколько не повлияет на общность рассуждений. И начинать мне придется с рассуж-

дений о построениях фигур в геометрии. Читатель ниже сам убедится, что именно так и надо начинать.

## 2. О ПОСТРОЕНИЯХ И СУЩЕСТВОВАНИИ ФИГУР В ГЕОМЕТРИИ

В современной геометрии вопрос о существовании фигур (в геометрии) сводится к возможности построения предполагаемой фигуры, а следовательно, к знанию того, как обоснованно построить фигуру. Вопреки представлениям прошлых времен, в современной геометрии фигуры не существуют «сами по себе». То есть фигуры не строятся Богом, а человек лишь обнаруживает и созерцает их (эти фигуры). В природе на самом деле не существует тех «чистых фигур», с которыми имеет дело геометр. Эти «чистые фигуры» есть творение человеческого разума и его рук. Некоторые возражают: «Геометрия есть творение только человеческого разума, но не его рук». И напрасно возражают; все инструменты геометра (он же с их помощью строит) начиная от линейки и циркуля и кончая высокоточными теодолитами, есть творения и разума и рук. Однако эти «чистые фигуры» - не произвольны. Они в первую очередь есть рациональное осмысление того, что происходит на самом деле в природе. Как, например, появляется понятие «прямой» в голове геометра? Вовсе не от Бога, или мудреца, приближенного к Богу. Будущий геометр многократно наблюдал какую «форму» приобретает сильно натянутая веревка (или тетива), он никак не мог отличить «форму вчерашнюю», от «формы сегодняшней». Вот тут-то у будущего геометра и возникает в голове мысль: «А что, если…»? Вот с таких «если» и начиналась геометрия.

Чем отличаются построения от рисования? Они – научны. Что это значит на деле? Они – возможны, они – однозначны, они – непротиворечивы, они – объективны. Последнее, весьма важное свойство, о котором часто забывают. Любой субъект, выполнив построения по заранее известным и обоснованным правилам, всегда придет к тем же результатам, что и другой аналогичный субъект. ***Именно благодаря построениям геометра в науке стало возможным появление понятия измерения***. С наиболее важными построениями в геометрии на плоскости (38 построений циркулем и линейкой) читатель может познакомиться в «Справочнике по элементарной математике» [1, с. 259].

Рисование же, чисто субъективное действие; оно всегда приводит в аналогичных обстоятельствах аналогичных субъектов к разным результатам. Рисование есть предмет изучения искусства. Геометрические построения есть предмет изучения науки.

Сегодня очень многие забывают правило: «Если у вас нет геометрических построений, то у вас нет и измерений». Современные обитатели Земли, уповая на технический прогресс, полагают, что они прекрасно обойдутся без геометрических построений, при этом процедура измерений все же останется в их распоряжении. Но так лишь только кажется, и кажется нам так только потому, что мы привыкли в обычной (ненаучной) обстановке обходиться без геометри-

ческих построений. То есть, мы привыкли обитать, в так называемом, цифровом мире. При этом мы забываем, что понятие «цифра» никогда бы не появилось в нашем сознании, если бы сначала в нашем сознании не появилось понятие – геометрическое построение.

Теперь следует сделать несколько весьма важных замечаний относительно существования фигур в геометрии. Пусть два геометра утверждают «одно и то же» в виде предложения: «Фигура $F$ – существует». Тогда мы обязаны их спросить, и мы их спросим: «Как вы узнали, что фигура $F$ существует»?

Первый геометр отвечает: «У меня имеется знание того, как эту фигуру можно построить. Но знание, как построить, дает и возможность построить эту фигуру, тогда, когда это понадобится. И после такого построения фигура как раз и будет существовать». Этот геометр – материалист. Он опирается в своих рассуждениях на материалистическое толкование правил познания законов природы: от экспериментального факта (то есть от созерцания самого этого факта) к его рациональному (научному) осмыслению. Что является для геометра материалиста экспериментальным фактом? Для него это – обоснованные построения фигуры. Обоснованные, значит – объясняемые. Геометр объясняет, почему при построении мы должны действовать инструментами именно так, а не иначе. Факт – фигура $F$ построена, для геометра-материалиста является экспериментальным фактом: поскольку она построена, она существует.

Ну, а что если имеет место обратное? То есть, когда геометр не знает, как построить фигуру? Могут возразить: «Да разве такое может быть, что геометр не знает, как построить фигуру»? Конечно, может быть, и именно так-то чаще всего и бывает. Так хорошо известно, что не всякую фигуру можно построить, применяя только циркуль и линейку. Многие фигуры можно построить, применяя (кроме циркуля) только линейку с делениями и транспортир (угломер с делениями). Также неизвестно, например, как построить «треугольник», у которого есть три угла, но нет ни одной стороны. Похоже, такой «треугольник» не существует. Во всех таких случаях геометр-материалист скажет: «В том случае, когда я не знаю, как строить фигуру $F$, я не имею права утверждать, что эта фигура существует. Такое утверждение является логической ошибкой. Почему? Для того чтобы фигура существовала её сначала надо построить, но чтобы её построить, надо сначала знать, как построить. Но я не знаю, как её построить, следовательно, я её никогда не построю. А это значит, что будучи непостроенной, эта фигура никогда не будет существовать». Конечно, некоторые могут возразить, мол всемогущий-то Бог наверняка знает, как построить любую фигуру. Однако мы в природе не видели ни одной фигуры, которую построил бы Бог, их все приходится строить самому геометру. И потом, у геометра-материалиста не принято апеллировать к мыслям от Бога. Бог все равно своими мыслями не поделится с геометром, и не только с ним (даже, если Бог есть, и у него есть мысли).

Но на вопрос «как вы узнали, что фигура существует», другой геометр отвечает совсем по-другому, и таких, «других» геометров в современной науке

большинство. Он говорит: «Для того чтобы утверждать, что фигура *F* существует, мне не обязательно знать, как она строится. Мне всего лишь нужно знать, что её существование не противоречит аксиомам, принятым в геометрии. Если фигура не противоречит этим аксиомам, то она существует». Однако прежде чем существовать, фигура сначала должна быть построена, а этого-то как раз этот «другой» геометр и не собирается делать. И этот «другой» геометр – идеалист. В своих рассуждениях он опирается не на экспериментальный факт (факт построения фигуры), а на мнимое доказательство, так называемое, ***доказательство методом от непротивного,*** как на критерий существования фигуры.

## 3. О ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕ МЕТОДОМ ОТ НЕПРОТИВНОГО

Напомню, что в науке существует ***доказательство методом от противного***. Суть его такова: допускается, что существует некий объект (у нас фигура). Затем путем рассуждений мы приходим к выводу, что существование этого объекта противоречит чему-то уже ранее существующему (например, аксиомам, теоремам, другим фигурам и т. д.). Отсюда мы делаем вывод, что допущение о существовании этого объекта – ложно, этого объекта не существует.

Однако, ***никакого обратного доказательства существования объекта (фигуры) методом от непротивного в науке не существует***. Если существование некого объекта не противоречит чему-то уже существующему, то это ещё не значит, что этот объект существует. Существование такого объекта придется доказывать не теоретически, а экспериментально. Но именно на это несуществующее доказательство и пытаются опираться в своих рассуждениях геометры-идеалисты. Приведу несколько примеров того, как не работает (а не как работает) доказательство методом от непротивного.

Пример 1. Прямая, проходящая через точки *A* и *B*, может пересекаться другой прямой *CD*. Это ничуть не противоречит никаким аксиомам и теоремам геометрии. Значит ли это, что прямая *AB* обязательно пересекается прямой *CD*? Конечно, нет. Она будет пересекаться, если прямую *CD* кто-нибудь построит, и не будет пересекаться, если такую прямую никто не построит.

Пример 2. Существование двух Лун у Земли ничуть не противоречит никаким законам логики или природы. Значит ли это, что у Земли имеется две Луны (два естественных спутника)? Конечно, нет. У Земли один естественный спутник, все остальные (искусственные) появились не раньше, чем были построены и запущены.

Пример 3. Геометрия Лобачевского устроена так, что в ней не существует никаких внутренних противоречий (её аксиомам, её теоремам и т. д.). Значит ли это, что геометрия Лобачевского обязательно существует в нашем реальном пространстве? Конечно, нет! Она будет существовать в реальном пространстве, если мы научимся строить те фигуры, о которых говорит Лобачевский. Например, мы обязаны знать, как пользоваться циркулем и линейкой, когда мы собираемся построить несколько прямых, проходящих через одну точку, и параллельных третьей прямой. ***И причем мы обязаны знать, как это делать на***

***плоскости (евклидовой)***. А не на каких-то гиперболических поверхностях, о построениях на которых мы и так уже все знали до Лобачевского. Напомню, что неевклидовы геометры постоянно пытаются подменить одно понятие другим: понятие евклидова прямая они отождествляют с понятием геодезическая прямая. Но эти два понятия тождественны только в одном случае: когда геодезическая прямая принадлежит евклидовой плоскости. Итак, мы не знаем, как нам действовать циркулем и линейкой (да и любыми другими инструментами), чтобы выполнить построения Лобачевского ***на евклидовой плоскости.*** И никогда не узнаем! А тогда почему мы должны говорить, что геометрия Лобачевского существует в реальном пространстве? Не потому ли, что мы верим в доказательство методом от непротивного? Вот именно, потому, что мы в него верим, а такого доказательства в науке не существует. И такой ошибочной верой мы обязаны появлению в науке (и в геометрии тоже) идеалистов, которые отбросили материалистический принцип познания природы: от экспериментального факта к его рациональному осмыслению. И поставили на главную роль «чистую мысль», не связанную ни с какими экспериментальными фактами. В самом деле, в неевклидовых геометриях нет факта построения, а раз такого факта нет, то материалисту и нечего рационально осмыслять. Бельтрами показал, что геометрия Лобачевского это геометрия на поверхности с отрицательной кривизной, а вовсе не геометрия на евклидовой плоскости. Прямая Лобачевского есть на самом деле ***геодезическая прямая на такой поверхности с отрицательной кривизной***. Она получится, если на такую поверхность будет (между двумя точками) натянута абсолютно тонкая, гибкая, нерастяжимая нить. Такая «прямая Лобачевского» не будет иметь никакого отношения к евклидовой прямой (такая же нить, натянутая между двумя точками, только без всяких ограничений от какой-либо поверхности). Но разве природа позаботилась о Лобачевском и создала для него заранее такие поверхности с отрицательной кривизной? Конечно, нет! Эти поверхности надо ещё строить. А строить их умеет только евклидов геометр. Получается, что Лобачевский, как геометр, не может обойтись без помощи евклидового геометра (и евклидовой геометрии). А тогда какой прок от такой геометрии? Несомненно, от такой геометрии имеется некоторый, познавательный прок. Некоторая познавательная польза имеется также и от других неевклидовых геометрий. Но, ни геометрия Лобачевского, ни другие неевклидовы геометрии, ***не являются более фундаментальными, нежели евклидова геометрия***. И это происходит потому, что как только возникает необходимость выполнять построения в неевклидовых геометриях, так тотчас выясняется, ***что неевклидов геометр не может обойтись без евклидовой геометрии***. Неевклидовы геометрии в науке всегда будут являться ***второстепенными, тогда как евклидова геометрия будет и фундаментальной и первостепенной***.

Однако откуда у геометров возникла эта ложная вера в доказательство методом от непротивного? Она возникла от слепого подражания «чистому математику». Математический аппарат к середине 19-го века достиг весьма боль-

ших успехов, в том числе и в логической строгости доказательства математических теорем. И математики стали забывать, что всякая математика и геометрия всегда начинаются с осмысления опытных фактов, а не с осмысления «неопытных фактов», то есть не с осмысления «чистой мысли» (чистой мысли о чем?). И возникло ошибочное убеждение, что математику для начала рассуждений о чем-либо никакие экспериментальные факты не нужны. А геометру, стало быть, не нужны построения, ведь построения есть экспериментальные факты. В начале 20-го века эту позицию в науке ясно выразил А. Пуанкаре в утверждении: «Математический объект существует, если его определение не заключает противоречия ни в самом себе, ни с предложениями, допущенными ранее» [2, с. 37]. С некоторой натяжкой, это утверждение можно применить к некоторому математическому символу или некоторой формуле. В самом деле. Математический символ или формула будут существовать, если их записать, по крайней мере, на бумаге. Более того, они будут существовать вечно, будучи уже записанными. Просто теперь эти символы или формулы будут описывать не только то, что происходит в реальном пространстве, но и то, что в нем не происходит (описание происходящего – избыточно). Но с геометрическими фигурами этот номер не пройдет. Геометрическую фигуру нельзя «записать» и нельзя нарисовать. Её можно только построить. И построить не как попало, а обоснованно. То есть, ссылаясь на соответствующие аксиомы и теоремы. Не знаешь, как построить, то значит, и не построишь. А не построишь, значит, фигуры не будет существовать. Геометрическая фигура это не просто любой математический объект, ***её существование является экспериментальным фактом***. И критерий существования, предложенный А. Пуанкаре, к геометрической фигуре неприменим. Вот это-то слепое подражание «чистому математику» и привело к созданию второстепенных в науке, неевклидовых геометрий. Нам неизвестно, как строятся фигуры в этих геометриях. А если фигура не построена, то в ней ничего не измеришь. Поэтому ***не удастся проверить, обладает или не обладает теми свойствами фигура, которыми наделяет её неевклидов геометр***. Нам станет известно это обоснованное построение, а затем и проверка свойств фигур, если только к этим геометриям мы подключим в помощь евклидову геометрию.

## 4. ПОСТРОЕНИЕ N-МЕРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Здесь я опишу лишь процедуру построения прямоугольных декартовых систем координат, и при этом общность рассуждений ничуть не пострадает. Почему? Потому, что все остальные системы координат всегда строятся по отношению к имеющейся (а значит уже построенной), прямоугольной декартовой системе координат. И переход, и построение других систем координат делается с помощью заранее известных формул перехода от прямоугольной, декартовой системы координат к другой системе координат. Обратное конечно не верно, но в каком смысле не верно? В том смысле, что невозможно перейти от одной системы координат к другой системе координат, и при этом умудрится миновать

прямоугольную декартову систему координат. В таких переходах прямоугольная декартова система координат всегда будет являться посредником. Поэтому математик имеет все основания называть прямоугольную декартову систему координат ***абсолютной***. И поэтому и мне достаточно рассмотреть построение только этой системы координат.

Итак, геометр строит точку, называет её буквой *O*, и говорит: «Вот видите, точка *O* существует, и она является нульмерным пространством. Следовательно, в нашем реальном пространстве существует нульмерное пространство, и оно является подпространством нашего реального пространства».

Далее геометр строит прямую $OX_1$, вводит на ней положительное направление, называет эту прямую осью (см. Рис. 1 а)), и говорит: «Вот видите, ось $OX_1$ построена, она существует. Следовательно, в нашем реальном пространстве существует одномерное пространство, в качестве подпространства нашего реального пространства».

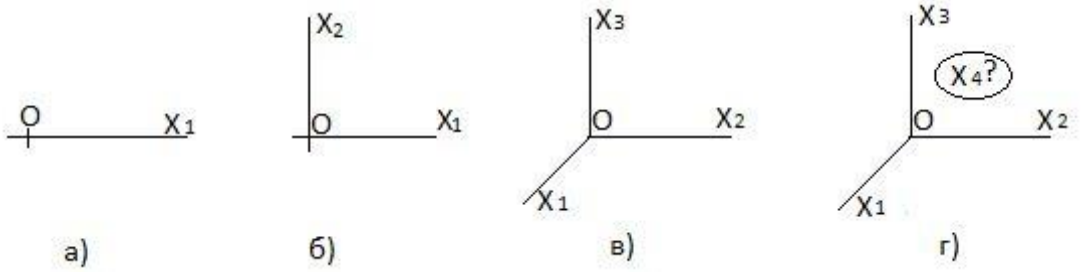



**Рис. 1. Построение систем координат**

Далее, геометр, точно зная, как строятся перпендикулярные прямые, строит вторую ось $OX_2$, и говорит: «Вот видите, я построил двумерную систему координат, следовательно, она существует. А значит, в нашем реальном пространстве существует двумерное пространство, в качестве подпространства нашего реального пространства».

Далее, геометр, точно зная, как строятся три прямых, проходящих через одну точку каждая из которых перпендикулярна двум остальным строит третью ось $OX_3$, и говорит: «Вот видите, я построил ещё одну, третью ось, перпендикулярную предыдущим осям. Все три оси существуют. Следовательно, в нашем реальном пространстве существует трехмерное пространство, в качестве подпространства этого реального пространства».

Но на этом все дальнейшие аналогичные построения геометра и закончатся. В самом деле. Как только геометр предпримет попытку построить четыре прямых, проходящих через одну точку каждая из которых перпендикулярна трем остальным, ***всякий раз четвертая ось будет получаться совпадающей с одной из уже ранее построенной осью***. И никак иначе. И так будет получаться и с пятой, и с шестой, и с любыми другими осями. И геометру не удастся сказать: «Вот видите, я построил четыре прямых, проходящих через одну точку, и все они перпендикулярны друг другу. Следовательно, в нашем реальном про-

странстве есть ещё и четырехмерное пространство».

Итак, мы видим, что нашей мыслительной деятельности, в том числе и в физико-математических науках, важнейшую роль играет именно экспериментальный факт. Построение геометра есть экспериментальный факт. А в нашем реальном пространстве экспериментального факта – построения системы координат ***выше трехмерной системы координат не существует***. Сегодня существует немало математиков и физиков, пренебрегающих этим обстоятельством и настаивающих на существовании в нашем реальном пространстве пространства выше трехмерного. Фактически они делают антинаучное заявление: «Факты говорят против. Ну, тем хуже для фактов». Именно пренебрежение экспериментальными фактами является отличительным признаком идеалиста в любых науках. Идеалист, всякий раз полагаясь на своё личное (субъективное) воображение, думает, что он прекрасно обойдется в своих научных изысканиях без всякого опытного факта. И такое его поведение приносит огромный вред науке.

**5. Сумма квадратов длин N отрезков**

Посмотрим, как рассуждает математик-идеалист, когда он говорит о сумме квадратов нескольких чисел. Он смотрит на Рис. 2 а), упоминает теорему Пифагора и записывает равенство:

$$a^2 + b^2 = c^2 \qquad (1)$$

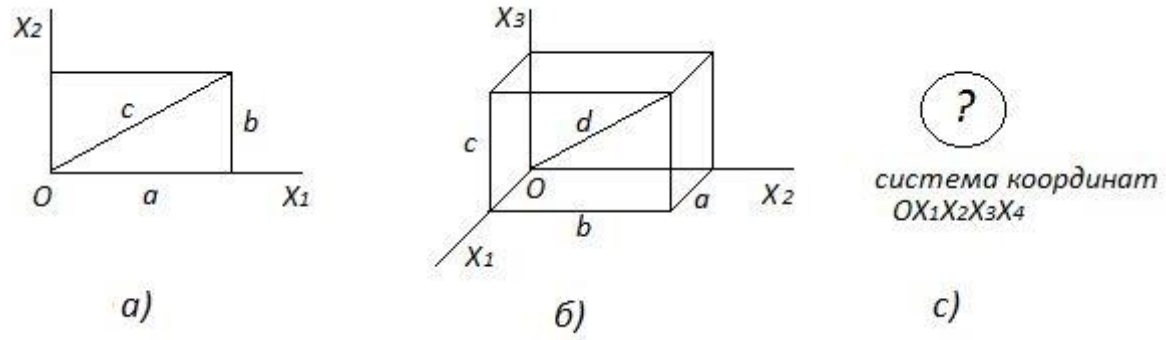



**Рис. 2. К теореме Пифагора**

В формуле (1) $a$ и $b$ стороны прямоугольника, а $c$ его диагональ. Затем он смотрит на Рис. 2 б) и аналогично записывает следующее равенство:

$$a^2 + b^2 + c^2 = d^2 \qquad (2)$$

Здесь уже $d$ – диагональ прямоугольного параллелепипеда. Осмыслив все это, далее математик говорит: «Пусть $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ – координаты точки в четырехмерном пространстве. Тогда квадрат расстояния ($S$) от начала координат до этой точки выразится формулой»:

$$S^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \qquad (3)$$

И далее аналогично записывает точно такой же квадрат расстояния ($S$) в $n$-мерном пространстве:

$$S^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \ ... + x_n^2 \qquad (4)$$

Но дело в том, что, как мы уже видели из предыдущего пункта, четвертая,

пятая и прочие оси координат при попытке их построить просто совпадут с уже построенными ранее осями: $OX_1$, $OX_2$, $OX_3$. Поэтому координаты точки, начиная с четвертой и далее, ***уже не будут являться независимыми***. Они будут являться функциями только первых трех координат, и только три этих координаты будут действительно независимыми.

Рассмотрим это утверждение несколько подробнее. Пусть в ***одномерном*** пространстве задано некоторое положительное число. Это число всегда можно представить в виде квадрата другого числа, а затем представить его в виде суммы квадратов какого угодно числа других чисел, например, так:

$$a = \left(\sqrt{a}\right)^2 = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \cdots + a_n^2 \quad (5)$$

Но среди чисел: $a_1$, $a_2$, $a_3$ ... $a_n$ в ***одномерном пространстве*** только ***одно из них*** будет являться действительно независимым (например, $a_1$). А все остальные числа уже будут являться функциями этого единственного независимого числа. Это происходит потому, что все векторы, соответствующие числам $a_i$ в одномерном пространстве лежат на одной прямой. Все они (векторы) ***линейно зависимы***. Тогда, если в качестве независимой переменной мы выберем вектор $\mathbf{a_1}$, то все остальные векторы будут линейно зависеть от этого указанного вектора посредством выражения типа $\mathbf{a_i} = k_i\mathbf{a_1}$. Таким образом, все имеющиеся векторы будут являться просто функциями одного независимого вектора, и никакого другого независимого вектора для описания суммы (5) уже не понадобится. А значит в одномерном пространстве сумма квадратов (4) просто выродится в квадрат функции одного независимого переменного типа $f(x_1)$. Далее, легко видеть, что в двумерном пространстве будет иметься только две независимых переменных и в двумерном пространстве сумма квадратов (4) выродится в функцию только двух действительно независимых переменных типа $f(x_1, x_2)$. И эта функция, как легко видеть, всегда может быть представлена в виде суммы квадратов двух других функций:

$$S^2 = f(x_1, x_2) = f_1^2(x_1) + f_2^2(x_2) \quad (6)$$

Формула (6) совершенно аналогична теореме Пифагора в двумерном пространстве, то есть формуле (1).

Если теперь мы рассмотрим ту же сумму квадратов (4) в трехмерном пространстве, то мы обнаружим, что эта сумма вырождается в сумму квадратов функций только трех независимых переменных:

$$S^2 = f(x_1, x_2, x_3) = f_1^2(x_1) + f_2^2(x_2) + f_3^2(x_3) \quad (7)$$

Формула (7) совершенно аналогична теореме Пифагора в трехмерном пространстве, то есть формуле (2). Итак, мы видим, что мы всегда можем записать сумму квадратов, какого угодно числа членов. И мы можем утверждать, что такая сумма всегда существует. Но геометрическая интерпретация такой суммы всегда ограничена только размерностью нашего реального пространства, то есть размерностью не выше трех. Мы, конечно, можем попытаться вообразить себе (точнее в своем уме) пространство четырех и выше измерений, но это наше такое воображение разобьется о реальный факт. О какой? А о такой. Наше

пространство трехмерно, с этим ничего не поделаешь, а значит, так тому и быть. И в этом нет ничего удивительного. Реальных фактов, о которые разбивается наше воображение очень большое количество. Достаточно вспомнить, хотя бы, идею построения вечного двигателя, или построения «гравитационного экрана».

Для нас же здесь самым важным является то, что никакая наука не может начинаться без предварительного рационального осмысления реального, фактического положения дел в природе. И это касается и математики и геометрии и физики. Желание создать науку от «чистой мысли» приносит в неё только вред. Например, А. Пуанкаре неоднократно высказывал в своих работах мысль, что может найтись достаточно мощный ум, который в состоянии будет представить себе четырехмерное пространство. Но что значит «представить себе»? Значит, представить его себе в своем уме, и только в нем. Но такое представление ***ничего не дает для объективной науки***, а нас интересует именно таковая. В самом деле. В объективной науке необходимо, чтобы все, кто ею занимается, могли представлять это самое четырехмерное пространство. И в объективной науке единственным средством для такого представления (понимания) является геометрическое построение, которое в отличие от воображения, одинаково для всех, а, следовательно, объективно. Но, как мы видели выше, построение четырех (и более) независимых перпендикулярных друг другу осей в реальном пространстве невозможно. Все оси, начиная от четвертой и далее, вырождаются в уже три построенных оси. И то мощное воображение ума, о котором говорит А. Пуанкаре, ничего не даст для объективной науки. Оно (воображаемое) так и останется внутри этого ума (для своего, личного пользования), точно так же, как оно остается в уме писателя-фантаста. И А. Пуанкаре, если бы он был не идеалистом в науке, а материалистом, поставил бы вопрос по иному, а именно: «Как нам построить четырехмерную систему координат? И возможно ли это»? А не так, как ставит его идеалист: «Как нам вообразить четырехмерную систему координат»?

## 6. ЧЕТЫРЕХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО - ВРЕМЯ

Это понятие в современном мире стало очень популярным, благодаря настойчивой пропаганде заведомо ложного учения – теории относительности. Каждый, кто имеет хоть какое-то отношение к физико-математическим наукам, всюду козыряет понятием 4-х мерного пространства – времени. При этом он вряд ли понимает, о чем он говорит. Речь же идет об утверждении, что в реальном пространстве имеются четыре независимых оси координат, каждая из которых имеет размерность длины, каждой точке соответствуют четыре координаты, а именно:

$$x_1, x_2, x_3, x_4 = ict \qquad (8)$$

Здесь в последнем (четвертом) измерении множитель, мнимая единица, не меняет размерности этой оси. Её размерность точно такая же, как и у остальных осей – длина. Но как могло возникнуть утверждение (8), когда мы только что

показали, что никакой независимой четвертой оси в реальном пространстве быть не может? Как далее будет показано, такое ошибочное утверждение возникает потому, что релятивисты (сторонники теории относительности) пренебрегают фундаментальным кинематическим соотношением (здесь в векторной форме):

$$\mathbf{s} = \mathbf{v}t \tag{9}$$

В формуле (9) имеются три величины: **s** – путь, проходимый точкой, **v** – скорость этой точки, $t$ – время, в течение которого точка двигается. Релятивисты полагают, что в формуле (9) все три величины являются независимыми друг от друга. Но это не так. В формуле (9) независимыми являются только две из них, а третья всегда будет являться функцией двух остальных. Именно это обстоятельство и приводит к тому, что при описании движения точки в реальном пространстве, у нас не возникает никакой нужды для введения некоторой, независимой четвертой оси, типа $OX_4$. И эта четвертая ось не будет являться независимой, она всегда будет являться зависимой от трех уже имеющихся в пространстве осей. То есть ось времени, если таковую нам нужно построить, всегда будет выражаться через уже имеющиеся в нашем распоряжении оси $OX_1$, $OX_2$, $OX_3$. Разберем это утверждение более подробно и начнем с самого простого (и, однако, самого важного) случая; равномерного, прямолинейного движения материальной точки.

Итак, пусть в формуле (9) **v** – постоянный вектор, а $\mathbf{s}_0$ – вектор начального положения точки. Тогда уравнение траектории точки в векторной форме будет таково:

$$\mathbf{s} = \mathbf{s}_0 + \mathbf{v}t \tag{10}$$

А в координатной форме оно будет таково:

$$x_i = x_i^0 + v_i t, \text{ где } i = 1, 2, 3 \tag{11}$$

Вопрос такой: как нам построить ось времени, если нам это действительно необходимо? Вариантов построения такой оси будет сколько угодно, по крайней мере, нам заведомо точно известны четыре таких варианта. Первые три варианта таковы; продублировать одну из осей $OX_1$, $OX_2$, $OX_3$, однако саму эту ось, разметить не делениями длины, а разметить её делениями времени, согласно формуле (11). То есть, для оси времени заимствовать из пространства одну из уже имеющихся осей. Четвертый вариант; направить ось времени по траектории точки, однако саму эту траекторию разметить, как и раньше, не в единицах длины, а в единицах времени, согласно формуле (10). То есть, для оси времени занять из пространства уже имеющуюся траекторию движения точки. Итак, мы видим, что для оси времени нет никакой нужды вводить некое четвертое измерение, тем более, что построение такой четвертой оси невозможно. Четвертое измерение типа $x_4 = ict$ становится совершенно ненужным (пятое колесо в телеге). И такой вывод следует из того факта, что я, в отличие от релятивистов, помню, что в формуле (9) только две величины являются действительно независимыми.

Нетрудно видеть, что и при криволинейном движении точки, с переменной

скоростью никакого четвертого измерения для оси времени не понадобится. Здесь проще всего использовать для построения оси времени уже имеющийся вариант; заимствовать уже имеющуюся траекторию точки в качестве «оси времени». То есть, это будет уже не ось времени, а это будет уже траектория времени. При этом можно использовать для разметки траектории, в единицах времени опубликованные мною ранее в [3] формулы (1. 15) и (1. 16) а именно:

$$dt = \frac{\mathbf{v}}{v} \cdot \frac{d\mathbf{r}}{v} \tag{12}$$

$$t_{AB} = (l) \int_A^B \frac{\mathbf{v}}{v} \cdot \frac{d\mathbf{r}}{v} \tag{13}$$

Здесь «точка» означает скалярное произведение векторов, $dt$ – дифференциал времени, $\mathbf{v}$ – вектор скорости точки, $v$ – модуль вектора скорости, $d\mathbf{r}$ – дифференциал перемещения точки, интеграл есть криволинейный интеграл по траектории точки ($l$) от $A$ до $B$. Если модуль скорости точки постоянен, то траектория точки будет размечена по времени одинаковыми длинами дуг.

Итак, введение четвертого измерения, то есть построения четвертой оси, для однозначного и непротиворечивого описания движения точки, не только невозможно, но и вовсе не является чем-то необходимым.

## 7. ОБ ИНТЕРВАЛЕ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Числа $x_i$ в формуле (8) релятивисты рассматривают как координаты вектора в четырехмерном пространстве. Далее по формуле (4) они находят квадрат длины этого вектора и получают следующий результат:

$$s^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - c^2t^2 \tag{14}$$

Эту величину релятивисты называют интервалом четырехмерного пространства – времени (другое название – инвариант Лоренца). Однако, что такое переменные $x_1$, $x_2$, $x_3$? Это есть ***координаты материальной точки в трехмерном пространстве***. А что такое $ct$? Это есть расстояние, на которое ***удалится световой импульс от начала координат***, если в начальный момент времени этот импульс был испущен именно из него (начала). Пусть для простоты, материальная точка также начинает двигаться в начальный момент из начала координат с постоянной скоростью $\mathbf{v}$. Тогда, выражая координаты точки через скорость и время по формуле (11), мы перепишем выражение (14) следующим образом:

$$s^2 = v_1^2t^2 + v_2^2t^2 + v_3^2t^2 - c^2t^2 \tag{15}$$

Формулы (14) и (15) есть не что иное, как разность квадратов расстояний, проходимых точкой и световым импульсом от начала координат за одно и то же время $t$. Формула (15) показывает, что эта разность непрерывно ***изменяется пропорционально квадрату времени наблюдения*** за точкой и световым импульсом. Но в другой, движущейся относительно прежней системы, системе координат скорости в формуле (15) будут уже совсем другими. Следовательно, и разность квадратов упомянутых расстояний будет уже совсем другой при таком же самом времени $t$. И она будет другой даже тогда, когда по утверждению релятивистов, скорость света остается в этой новой системе координат преж-

ней. А это значит, что при переходе из одной системы координат в другую систему, выражения (14) и (15) ***не будут являться инвариантами***. Итак, пока мы смотрим на выражение (14) в нашем воображении ещё может удерживаться иллюзия, что это есть инвариант. Но как только мы вспомним фундаментальное соотношение (9) с которого и начинается вся физика, мы тотчас из (14) получаем (15) и иллюзия инвариантности исчезает. Это – не инвариант. Однако ***эта разность будет тождественно равна нулю (то есть, будет инвариантом) в двух случаях***. 1-й случай, когда скорость точки равняется скорости светового импульса, тогда формула (15) вырождается в математическое определение того, что такое квадрат скорости светового импульса:

$$c^2 = c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 \qquad (16)$$

2-й случай, когда скорость светового импульса равняется скорости точки **v**, тогда формула (15) вырождается в математическое определение того, что такое квадрат скорости **v**:

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 \qquad (17)$$

Формулы (16) и (17) показывают, что выражения (14) и (15) вовсе не является результатом «нашего проникновения в четвертое измерение». Оба они есть не что иное, как слегка завуалированное определение того, что мы понимаем под квадратом длины вектора ***в трехмерном пространстве***. А понимаем мы под этим скалярное произведение вектора (**a**) самого на себя:

$$a^2 = \mathbf{a} \cdot \mathbf{a} \qquad (18)$$

Итак, мы видим, что никакого четырехмерного интервала в нашем реальном пространстве не существует. Этот интервал был специально придуман релятивистами. И он им понадобился для того, чтобы с его помощью протащить в науку ложные утверждения теории относительности.

Могут возразить: «В формулах (9) – (13) материальная точка обязательно двигается. Но ведь есть же ещё и неподвижные точки, а к ним эти формулы не годятся». Конечно, не годятся. В мире, где ни одна материальная точка не двигается, понятие времени потеряло бы физический смысл. Однако часы-то у нас есть, мы умеем их изготовлять весьма высокоточными. А в часах всегда двигается некий объект, отождествляемый с материальной точкой. Так в световых часах световой импульс за время *t* пройдет (суммарный) путь равный *ct*. Он (в часах) просто «уложен» внутри одного пространственного периода. И этот суммарный путь всегда можно «развернуть» и уложить на любую пространственную ось, а саму ось проградуировать или в метрах или в секундах (в зависимости от надобности). И все часы работают точно также. Итак, в нашем мире, все, что касается времени, происходит по формулам (9) – (13). А инвариант Лоренца здесь неуместен.

Вполне уместно здесь развеять миф о том, что в разных системах отсчета «время течет неодинаково». И хотя это уже делалось неоднократно, полезно это сделать ещё раз с позиций того, что излагается в этой статье. Суть дела поясняется на Рис. 3.

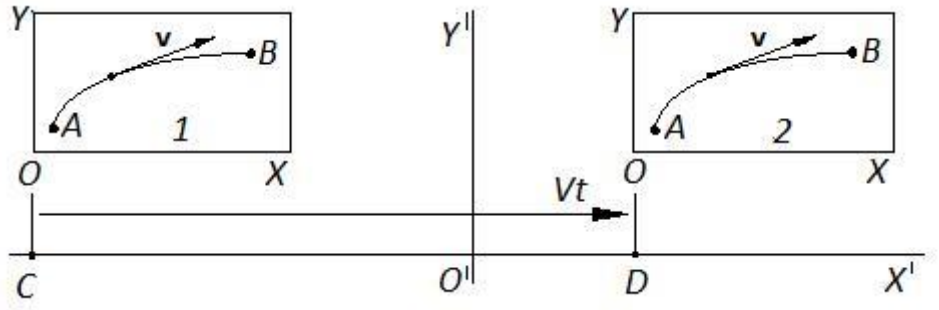



**Рис. 3. Время – инвариант**

Здесь изображены две (двумерные) системы отсчета штрихованная $O^IX^IY^I$ и система $OXY$, изображенная дважды в двух разных положениях; в начальном - (1) и конечном - (2). Внутри системы $OXY$ материальная точка двигается по некоторой траектории ($l$) от точки $A$ до точки $B$ (на Рис. 3 показан только вектор **v** скорости точки и кривая $l$). Пусть сначала система $OXY$ неподвижна относительно штрихованной системы отсчета – положение (1). Поскольку имеют силу формулы (9), (12), то время движения точки от $A$ до $B$ выражается интегралом (13) и будет одинаково для наблюдателей в обеих системах отсчета. Пусть теперь система отсчета $OXY$ двигается параллельно оси $O^IX^I$ с постоянной скоростью $V$ (на Рис. 3 вправо). Каково теперь будет время движения материальной точки от $A$ до $B$? ***Оно останется тем же самым***! В самом деле. Скорость точки – вектор **v** определяется по отношению к траектории этой точки, кривой ($l$), и кривая, и скорость, по отношению к этой кривой, ничуть не изменятся, если система $OXY$ начнет каким-то образом двигаться относительно чего-то внешнего. Интеграл (13) останется прежним. А что отметит наблюдатель, находящийся в неподвижной (штрихованной) системе отсчета? Он отметит, что система отсчета $OXY$ сдвинулась вправо на расстояние $CD$. А ещё он отметит, что это расстояние равно $Vt$. И здесь $t$ – то же самое время, что и в интеграле (13). Почему? Да потому, что первая отметка о положении системы отчета $OXY$ относительно штрихованной системы, ***должна быть сделана одновременно*** с началом движения материальной точки из точки $A$. И вторая отметка о положении системы отсчета $OXY$ относительно штрихованной системы, также ***должна быть сделана одновременно*** в момент появления материальной точки в точке $B$. Итак, физическое время, определяемое в векторной форме формулами (9), (12), (13) не «течет по-разному» в разных системах отсчета. Как физическая величина ***время есть инвариант по отношению к любым системам отсчета***. А вот «инвариант» Лоренца (14) вовсе не является таким инвариантом. Как мы уже видели выше, это есть просто скрытое определение того, что такое квадрат скорости.

Примечание. В штрихованной системе отсчета $O^IX^IY^I$ траектория движущейся точки вдоль оси $O^IX^I$ растянется в $k$ раз. Соответственно и составляющая скорости точки вдоль этой оси увеличится в $k$ раз. А потому интеграл (13) будет иметь одну и ту же величину в обеих системах отсчета.

И, наконец, можно добавить касательно четырехмерного пространства следующее полезное рассуждение. Мы можем теоретически узнать, что будет происходить в двумерном пространстве, зная, что происходит в трехмерном пространстве. Мы можем теоретически узнать, что будет происходить в одномерном пространстве, зная, что происходит в двумерном пространстве. То есть, двигаясь от большего к меньшему. Но обратное неверно. Мы никогда не узнаем теоретически, что будет происходить в трехмерном пространстве, зная, что происходит в двумерном пространстве. Мы никогда не узнаем теоретически, что будет происходить в четырехмерном пространстве, зная, что происходит в трехмерном пространстве. То есть, двигаясь от меньшего к большему. Такие знания мы можем получить ***только экспериментальным путем***. Но для перехода в четырехмерное пространство ***у нас нет экспериментального пути; самый первый эксперимент, который нам понадобится – построение четырехмерной системы координат, уже оканчивается неудачей***. Вышеприведенные рассуждения есть частный случай более общего закона природы – принципа недостаточности опытных данных при переходе от меньшего к большему, о котором подробнее можно узнать здесь [4].

## 8. О ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯХ

Итак, при построении оси времени мы всегда действуем точно так же, как действует геометр. Мы эту ось не только воображаем. Для научного понимания вещей одного воображения недостаточно. Воображение – субъективно. Мы эту ось ещё и строим, как строит свои фигуры геометр. И как мы видели выше, мы строим эту ось в том же пространстве, в котором строит свои фигуры геометр. Почему это так? Да потому, что у нас нет никакого другого пространства, в котором мы могли бы что-то строить, кроме того пространства, в котором мы живем. При этом ось времени или дублирует одну из каких-то уже построенных осей (например, осей системы *OXYZ*). Или она строится в том же трехмерном пространстве «самостоятельно». Но эта «самостоятельность» только кажущаяся. Всякая такая «самостоятельная» ось всегда может быть математически выражена через уже построенные оси системы *OXYZ*. То же самое относится и к траектории времени. И этим геометрическим фигурам мы просто присваиваем другие имена, называя их осью времени или траекторией времени. И размечаем (градуируем) мы их не в единицах длины, а в единицах времени.

Но точно также мы поступаем и в других геометрических интерпретациях. Мы строим оси: давления, температуры, объема, импульса, энергии, энтропии и так далее. Но эти оси мы заимствуем из нашего реального пространства; мы лишь меняем их названия и градуировку, согласно соответствующей физической величине. С этой точки зрения термины пространство – время, пространство – температура, пространство – энтропия и так далее, ничем принципиально друг от друга не отличаются. Под этими терминами всего лишь следует понимать тот факт, что для построения осей времени, температуры, энтропии и так далее, мы заимствовали из пространства подходящие для наших целей оси. А

затем назвали (и разметили) их подходящим образом. Такие геометрические интерпретации оказывают науке огромную пользу. Так Арнольд В. И. в своей книге [5, с. 18] очень рационально вводит «фазовую плоскость». А в книге [6] приводятся прекрасные трехмерные геометрические интерпретации термодинамических величин. И при этом, ни о каком четырехмерном пространстве типа, например, четырехмерное пространство – энтропия речи не идет. Особое уважение релятивистов к четырехмерному пространству – времени кажется непредвзятому исследователю крайне странным. В самом деле. Чем же хуже в таком случае четырехмерное пространство – энергия? Ничем! Может попробовать его применить в науке? Попробовать-то можно, да только вот как построить четвертую ось энергии, перпендикулярную трем остальным, уже построенным? Похоже никак! Но с осью-то времени, всё то же самое.

И опять здесь приходится слышать некое «смягчающее обстоятельство», строить-то необязательно, достаточно вообразить. И опять я напомню материалистический принцип познания законов природы. Он таков: всякую вещь, существующую в природе можно отобразить (вообразить) в своем сознании. Обратное неверно: не всякая вещь, которую можно вообразить в своем сознании, существует в природе. Существование такой воображаемой вещи придется доказывать экспериментально. Но четвертая ось это как раз и есть то, что можно вообразить (но, не построить). Чтобы доказать, что она существует её надо построить. А это мы как раз и не можем сделать. Напомню также, что все воображаемые «математические пространства» называются «пространствами» по аналогии с реально существующим трехмерным пространством.

## 8. ВЫВОДЫ

1. Современные физико-математические науки в своих основах покоятся на тех же материалистических принципах познания, что и остальные науки. Для нас особо важны два положения: 1-е – начинай от экспериментального факта, а последующим будет его рациональное (научное) осмысление; 2-й – всякая существующая в нашем мире вещь может быть воображаема в нашем сознании, но не всякая воображаемая в нашем сознании вещь является действительно существующей в нашем реальном мире. Существование такой воображаемой вещи доказывается экспериментально. В геометрии, входящей и в основания физики, доказательством существования воображаемой фигуры является указание обоснованного способа её построения. Нет обоснованного способа построения фигуры, значит, нет и фигуры. А если нет фигуры, то невозможны и никакие её измерения. А если нет измерений, то невозможно проверить обладает ли эта «непостроенная» фигура теми свойствами, которыми её наделяет геометр (а вслед за ним и физик).

2. В нашем распоряжении имеются обоснованные правила построения фигур в пространстве не выше трехмерного (то есть реального), и не существует таких правил в четырехмерном, пятимерном и прочих воображаемых пространствах. Следовательно, в этих (прочих) пространствах не существует и фигур, а

значит, не существует четвертой, пятой и так далее осей координат, так как они также являются фигурами.

3. Релятивист излагающий как специальную теорию относительности (СТО), так и общую теорию относительности (ОТО), вынужден использовать именно четырехмерное (вымышленное) пространство, желает он этого или нет. Почему? Потому, что в этих теориях обязателен инвариант Лоренца, а он влечет за собой обязательное существование четырехмерного пространства. Все это означает, что релятивист всякую свою работу по теории относительности (неважно СТО или ОТО) обязан предварять следующим замечанием: «Господа, сейчас я буду излагать то, чего никогда не происходит в нашем реальном пространстве». Но разве мы встречали где-нибудь такое предварительное замечание? В том-то и дело, что нет. Эту «необязательность» релятивиста очень хорошо подметил Дж. Л. Синг в предисловии к своей известной книге [7, с. 7]: «Среди физиков релятивист имеет меньше всего обязанностей перед обществом». Поэтому-то он и не обязан снабжать свои работы подобными предварительными замечаниями. А читателю приходится самому докапываться до истины, и самому уже снабжать работы релятивиста подобными предварительными замечаниями. А данная моя работа как раз и помогает читателю сделать это.

4. По сути дела в том, что релятивист ***говорит о четырехмерном мире, а сам проживает в трехмерном мире***, нет противоречия. Ведь он говорит о воображаемом мире, а не о реальном. Но где он этот воображаемый мир? Возможно, за пределами обозримой части Вселенной. Ведь мы не можем построить четыре оси «пространства релятивиста» как в пределах Солнечной системы, так и на границе обозримой части Вселенной. Возможно, четырехмерный мир находится за этой границей? Возможно, но сначала надо проникнуть за пределы этой границы, и убедиться, что там, за пределами обозримой части Вселенной, мир оказывается четырехмерным. А может быть он точно такой же, как и здесь?

5. В аналогичной ситуации находятся и создатели неевклидовых геометрий. В этих геометриях нет обоснованных правил построения фигур. Нет и самих фигур, они все лишь воображаемые. А значит, нет и никаких измерений, позволяющих что-то измерить в этих фигурах. А это означает, что практическая проверка тех свойств, которыми наделяет геометр эти фигуры, невозможна. Поэтому всякую работу, посвященную неевклидовой геометрии, геометр обязан предварять следующим замечанием: «Господа, сейчас я буду излагать геометрию, в которой свойства её фигур не поддаются практической проверке». Но такого предварительного замечания от неевклидова геометра мы до сих пор не услышали. И сегодня многие думают, что такая проверка возможна. Увы, это иллюзия. Практическая проверка свойств фигур возможна лишь в евклидовой геометрии.

6. Теперь нам становится ясно, как следует относиться к неевклидовым геометриям и пространствам выше трех измерений. Правило здесь предельно просто: ***в науке о законах природы никогда не применяйте ни неевклидову***

***геометрию, ни пространство выше трех измерений***. Изучение многомерных пространств и неевклидовых геометрий представляет интерес только для тех субъектов, которые хотят узнать; что происходило бы в нашем мире, ***если бы*** его размерность была выше трех, а геометрия в нем была бы неевклидова. Но, увы, природа не позаботилась о том, чтобы предоставить в наше распоряжение эти самые «если бы».

**Список источников**

1. М. Я. Выгодский, Справочник по элементарной математике, М., 1966 г.,424 с.

2. Пуанкаре Анри, О науке, Пер.с франц. – М. Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 560 с.

3. Овчинников А. Н., Рассуждения об основах физики, Москва: ЛитРес: Самиздат, 2020. – 211 с.

4. Овчинников А. Н., О принципе недостаточности опытных данных при переходе от меньшего к большему, Монография, «НАУКА, ИННОВАЦИИ, ОБРАЗОВАНИЕ: Актуальные вопросы и современные аспекты», https://naukaip.ru/archivemon/ МОН-203, глава 19, с. 224 (октябрь 2023)

5. Арнольд В. И., Математические методы классической механики, М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 432 с.

6. Р. Кубо, Термодинамика, Издательство «МИР», Москва 1970. – 304 с.

7. Дж. Л. Синг, Общая теория относительности, М.: ИЛ, 1963. – 432 с.

УДК 539

# ГЛАВА 9. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

**Филимонов Владимир Евгеньевич**
к.т.н.

**Аннотация:** разработана альтернативная теория гравитационного поля для движущихся координат, позволяющая учитывать релятивистские эффекты в рамках рассмотренной теории. На основе уравнения гравитационного поля выведены базовые уравнения гравитации и в том числе - формула расширенного закона всемирного тяготения Ньютона, позволяющая объяснить аномальные смещения перигелиев планет солнечной системы.
**Ключевые слова:** поле, гравитация, релятивизм, тела, планеты, электродинамическая постоянная, функция, градиент, дивергенция, ротор.

**ALTERNATIVE THEORY OF GRAVITATIONAL FIELD**

**Filimonov Vladimir Evgenievich**

**Abstract:** An alternative theory of the gravitational field for moving coordinates has been developed, which makes it possible to take into account relativistic effects within the framework of the considered theory. Based on the gravitational field equation, the basic equations of gravity are derived, including the formula of Newton's extended law of universal gravitation, which makes it possible to explain the anomalous displacements of the perihelia of the planets of the solar system.
**Keywords:** field, gravity, relativism, bodies, planets, electrodynamic constant, function, gradient, divergence, rotor.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение
1. Аксиомы динамической теории гравитации
2. Дифференциальные уравнения гравитационного поля в полных производных
3. Дифференциальные уравнения гравитационного поля в частных производных
4. Вывод формулы закона всемирного тяготения Ньютона
5. Теорема о дивергенции гравитационного поля в движущихся координатах
6. Расширенная формула закона всемирного тяготения Ньютона
Общие выводы
Приложение А1,
Приложения А2
Список источников

## ВВЕДЕНИЕ

Гравитацией называют силу притяжения, действующую между телами. Эту силу мы ощущаем в быту постоянно, поскольку притягиваемся к Земле с силой, которую называем тяжестью тел. Силы, действующие в пространстве на материальные тела без непосредственного контакта, как известно, называют силовыми полями. В окружающем нас пространстве наиболее известны такие силовые поля как гравитационные, электрические и магнитные. В процессе развития ядерной физики между элементарными частицами были определены также поля сильного и слабого взаимодействия. Для описания вышеперечисленны полей было создано множество законов и теорий, таких как закон Кулона, уравнения Максвелла, три закона инерции Ньютона, закон всемирного тяготения Ньютона, специальная теория относительности (СТО) и общая теория относительности (ОТО) Эйнштейна, а также законы квантовой механики. Однако в процессе развития техники и точности измерений в этих законах обнаруживаются неточности и противоречия. Например, специальная теория относительности (СТО) Эйнштейна, призванная скорректировать уравнения электродинамики применительно к движущимся координатам, имеет свои противоречия и ошибки. Рассмотрим примеры таких ошибок, излагаемых в статье Семикова С.А. "Неточности космической навигации и баллистические поправки" [1]. Ошибки были обнаружены в лаборатории реактивного движения под руководством Дж. Андерсона [2, 3, 4, 5], когда при радиолокации Венеры были выявлены значительные систематические расхождения между радарными данными положения планеты, определяемыми с использованием СТО, и весьма точными астрономическими данными [6]. Также наиболее ярко радарные нестыковки проявились в 2004 и 2012 гг. при прохождении Венеры по диску солнца. Наблюдения показали, что моменты контакта Венеры с диском Солнца, рассчитанные с данными таблиц, содержащих радарные "поправки", запаздывали на минуту. Запаздывание показало, что "поправки", рассчитанные по теории СТО, ложно сместили Венеру вперед на сотни километров. Весьма примечательны примеры с Flyby-аномалиями, заключающиеся в отклонениях ожидаемых скоростей, измеренных радаром у автоматических станций, пролетающих мимо планет по гиперболе. Так, у автоматических станций "Галилео" и "NEAR" при пролете возле Земли выявлен прирост скорости вопреки законам сохранения энергии. Причина ошибок вновь в СТО: для замеров скорости станций применяют релятивистскую формулу Доплер-эффекта. При расчете скорости по классическим формулам, отклонений от расчета нет.

Общая теория относительности (ОТО) Эйнштейна, призванная уточнить законы гравитации, также имеет свои противоречия, описанные в работе [7]. Для устранения противоречий в ОТО в 1989 году Логуновым А.А. была опубликована альтернативная теория "Релятивистская теория гравитации" (РТГ) [8], а в 2005 году Бурланковым Д.Е. была опубликована другая альтернативная теория "Динамика пространства" (ДП) [9]. Заметим, что в альтернативных теориях как Логунова, так и Бурланкова нет ни черных дыр, ни Большого взрыва, как

это предсказывает ОТО. Анализируя вышеизложенное, представляется, что противоречия в известных законах гравитации и электромагнетизма не могут быть устранении до тех пор, пока законы не будут объединены в единую теорию. Такая единая теория позволила бы объединить разрозненную мозаику физических теорий электромагнетизма и гравитации в единую цельную картину мира и позволила бы снять все имеющиеся противоречия в этих областях знаний. В связи с этим целью настоящей работы ставится создание альтернативной теории гравитации, основанную на взаимосвязи гравитационных и электромагнитных явлений в движущихся координатах.

Рассмотрим правила оформления текста и формул, принятые в настоящей работе. В формулах для обозначения физических величин используются символы латинского и греческого алфавитов, причем, каждый символ может сопровождаться надчерком, а также индексом.

Поскольку в настоящей работе представлено множество выводов уравнений и закономерностей, то для облегчения ориентации в представленном материале, системы уравнений выделяются рамочками из сплошных линий.

Ссылка на систему уравнений, содержащей подряд несколько формул, имеет структуру типа (3.5__9), где первая цифра слева от точки обозначает номер раздела; первое число после точки означает номер первой формулы в этой системе уравнений, а второе число справа от подчерка - номер последней формулы в этой системе. Например, система уравнений (3.5__9) находится в третьем разделе, а номера формул в этой системе уравнений – 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 и 3.9.

Если в одной строке имеется две или три формулы, то номер в этой строке относится к последней формуле, а нумерация первых двух формул подразумевается, но в явном виде отсутствует.

Для указания размерности величины измерения используется символ dim (от англ. dim*ension* - размер, размерность). Например, размерность величины скорости "c" записывается как: $\dim\ c = [\text{см.сек}^{-1}]$.

В настоящей работе для изложения теории гравитации используется система единиц измерения СГС.

## 1. АКСИОМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

Как известно, при создании какой-либо физической теории приходится опираться на ограниченный ряд физических аксиом, которые сами по себе не имеют физического объяснения. Простейшим примером является второй закон Ньютона, который в своей простейшей форме определяется как: "сила равна массе, умноженной на ускорение". Какой здесь физический смысл? Закон всемирного тяготения Ньютона и закон Кулона также являются классическими примерами физических аксиом. Таким образом, физическая аксиома - это закономерность, описывающая некое глубинное физическое явление, куда интуитивным образом добрался человеческий разум без понимания этого явления. Гравитация, - это как раз такое физическое явление, которое пока неподвластно

человеческому разуму, однако для его описания создано ряд теорий, в том числе закон всемирного тяготения Ньютона, а также общая теория относительности Эйнштейна. Однако, как было отмечено во введении, явление гравитационного взаимодействия тел и до настоящего времени нуждаются в дальнейшем изучении, а научные исследования в этой области и в настоящее время являются актуальными.

Для разработки альтернативной теории гравитации обратимся к работе [13], в которой при разработке единой теории гравитации и электромагнетизма был использован аксиоматический метод, в основе которого положена гипотеза о том, что гравитационное, электрическое и магнитное поля являются составляющими единого поля, названого гравитонным полем. Для определения динамических характеристик гравитонного поля в работе [13] была предложена в качестве аксиомы формула, определяющая динамику волновых деформаций гравитонного поля в свободном пространстве вакуума в виде:

$$\frac{d^2\bar{U}}{d\tau^2} = b^2\ grad\left(div\,\bar{U}\right) - c^2\ rot\left(rot\,\bar{U}\right) + \bar{N}\,, \tag{1.1}$$

где $\bar{U}$ - вектор деформации гравитонного поля, с размерностью

$$\dim\ \bar{U} = [\text{см}]; \tag{1.2}$$

$\tau$ - время, с размерностью $\dim\ \tau = [\text{сек}]$; (1.3)

$\bar{N}$ - векторная функция, являющаяся источником деформации гравитонного поля, с размерностью

$$\dim\ \bar{N} = [\text{см.сек}^{-2}]; \tag{1.4}$$

$c$ - электродинамическая постоянная,

$$\dim\ c = [\text{см.сек}^{-1}]; \tag{1.5}$$

$b$ - изодинамическая постоянная,

$$\dim\ b = [\text{ см.сек}^{-1}]; \tag{1.6}$$

$grad$ - оператор градиента с размерностью

$$\dim\ grad = [\text{см}^{-1}]; \tag{1.7}$$

$div$ - оператор дивергенции с размерностью

$$\dim\ div = [\text{см}^{-1}]; \tag{1.8}$$

$rot$ - оператор ротора с размерностью

$$\dim\ rot = [\text{см}^{-1}].$$

Для удобства изложения формула (1.1) была названа волновым кодом вакуума. Существенным в уравнении (1.1) является то, что его левая часть представлена в виде полной производной по времени второго порядка $d^2\bar{U}/d\tau^2$.

Здесь функция $\bar{U}$ является сложной векторной функцией, зависящей от времени и координат, но координаты в движущейся системе также зависят от времени [11, с.359], ввиду чего, производная от сложной векторной функции $\bar{U}$ записывается в виде полной производной по времени.

Метод, который излагается в работе [13], можно назвать методом глубокой дедукции, основанный на том, что принятое в качестве постулата динамическое уравнение гравитонного поля (1.1), преобразуется далее путем перехода к новым переменным с использованием методов векторного анализа и теории размерностей с соответствующей интерпретацией новых переменных. В результате показано, что гравитонное поле может быть представлено в виде продольной и поперечной составляющих. Продольная составляющая гравитонного поля названа гравитационным полем, а поперечная составляющая – гравитовихревым полем. В результате, волновой код вакуума (1.1) в работе [13] был преобразован к двум волновым уравнениям, отражающим распространение в свободном пространстве вакуума двух полей: гравитационного $\bar{T}_P$ и гравитовихревого $\bar{T}_S$, то есть

$$\frac{1}{b^2}\frac{d^2\bar{T}_P}{d\tau^2} = \Delta\bar{T}_P + \gamma\ grad\ \delta\,, \tag{1.9}$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0\,; \tag{1.10}$$

$$\frac{1}{c^2}\frac{d^2\bar{T}_S}{d\tau^2} = \Delta\bar{T}_S + \frac{\gamma}{c}rot\ \bar{j}_S\,, \tag{1.11}$$

$$div\ \bar{T}_S = 0\,, \tag{1.12}$$

$$div\ \bar{j}_S = 0\,, \tag{1.13}$$

где $\bar{T}_P$ - гравитационное поле, $\dim\ \bar{T}_P = [\text{см.сек}^{-2}]$; (1.14)

$\bar{T}_S$ - гравитовихревое поле, $\dim\ \bar{T}_S = [\text{см.сек}^{-2}]$ (1.15)

$\delta$ - плотность материальной среды, $\dim\ \delta = [\text{г.см}^{-3}]$; (1.16)

$\bar{j}_S$ - плотность потока материальной среды,

$$\dim\ \bar{j}_S = [\text{г.см}^{-2}\ \text{сек}^{-1}]; \tag{1.17}$$

$\gamma$ - гравитационная константа, $\dim\ \gamma = [\text{см}^3.\text{г}^{-1}\ \text{сек}^{-2}]$. (1.18)

Формула (1.9), представляет волновое уравнение, определяющее совместно с дополнительным условием (1.10) распространение гравитационных волн $\bar{T}_P$ в свободном пространстве вакуума при заданном источнике гравитацион-

ных волн в виде плотности материальной среды $\delta$, а также при заданных константах $b$ и $\gamma$.

Формула (1.11) представляет волновое уравнение, определяющее совместно с дополнительными условиями (1.12) и (1.13) распространение гравитовихревых волн $\overline{T}_S$ в свободном пространстве вакуума при заданном источнике гравитовихревых волн в виде плотности потока материальной среды $\overline{j}_S$, а также при заданных константах $c$ и $\gamma$.

В работе [13] показано, что волновые уравнения (1.1), (1.9) и (1.11) являются Галилей-инвариантными, то есть эти уравнения не изменяется при их преобразовании из одной системы координат в другую в условиях равномерного относительного движения этих систем.

В работе [13] показано также, что волновые уравнения гравитационных и гравитовихревых полей (1.9) и (1.11), могут служить для развития альтернативных теорий гравитации и электромагнетизма соответственно. В настоящей работе ставится задача на основе волнового уравнения гравитации (1.9) развить альтернативную теорию гравитационного поля.

## 2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ПОЛНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Задачей настоящего раздела ставится анализ, полученного в работе [13] волнового уравнения гравитационного поля (1.9) и разработка на его основе альтернативной теории гравитационного поля, которая позволила бы уточнить закон всемирного тяготения Ньютона в плане коррекции аномального смещения перигелиев планет солнечной системы. Ввиду этого рассмотрим преобразование упомянутого выше дифференциального уравнения гравитационного поля второго порядка (1.9) к дифференциальным уравнениям первого порядка. С этой целью представим оператор $\Delta\overline{T}_P$ по формуле приложения (А2.5) к виду

$$rot\left(rot\ \overline{T}_P\right) = grad\left(div\ \overline{T}_P\right) - \Delta\overline{T}_P . \qquad (2.1)$$

Подставив сюда соотношение (1.10), получим

$$\Delta\overline{T}_P = grad\left(div\ \overline{T}_P\right). \qquad (2.2)$$

Подставив это выражение в уравнение (1.9), запишем полученное уравнение совместно с соотношением (1.10) в виде системы:

$$\frac{1}{b^2}\frac{d^2\overline{T}_P}{d\tau^2} = grad\left(div\ \overline{T}_P\right) + \gamma\ grad\ \delta , \qquad (2.3)$$

$$rot\ \overline{T}_P = 0 , \qquad (2.4)$$

Соотношение (2.3) является волновым неоднородным уравнением, записанным в полных производных по времени, которое совместно с соотношением (2.4) определяет распространение волн напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ в свободном пространстве при заданной гравитационной константе $\gamma$, причем, масса в виде объемной плотности массы $\delta$ является источником этих волн. Заметим, что гравитационная константа $\gamma$ несколько отличается от гравитационной постоянной $\Gamma$, используемой обычно в формуле закона всемирного тяготения Ньютона [17, с.303], а причина этому будет изложена в дальнейшем.

Анализ дифференциального уравнения второго порядка (2.3) начнем с преобразования этого уравнения к дифференциальным уравнениям первого порядка следующим образом. Представив в левой части этого уравнения производную второго порядка в виде двойной производной первого порядка, запишем

$$\frac{1}{b^2}\frac{d}{d\tau}\left(\frac{d\bar{T}_P}{d\tau}\right) = grad\left(div\,\bar{T}_P\right) + \gamma\ grad\ \delta. \qquad (2.5)$$

Рассмотрим преобразование левой части этого уравнения к новой векторной переменной, для чего умножим и разделим левую часть на гравитационную константу $\gamma$. Далее, введя гравитационную константу $\gamma$ в знаменателе под знак дифференциала, преобразуем уравнение (2.5) к виду

$$\frac{\gamma}{b^2}\frac{d}{d\tau}\left(\frac{1}{\gamma}\frac{d\bar{T}_P}{d\tau}\right) = grad\left(div\,\bar{T}_P\right) + \gamma\ grad\ \delta. \qquad (2.6)$$

Введем новую переменную $\bar{j}_P$ применительно к выражению в скобках левой части этого уравнения, то есть

$$\bar{j}_P = \left(\frac{1}{\gamma}\frac{d\bar{T}_P}{d\tau}\right), \qquad (2.7)$$

где $\bar{j}_P$ - новая векторная функция.

Подставив в уравнение (2.6) определение (2.7), получим

$$\gamma\frac{1}{b^2}\frac{d\bar{j}_P}{d\tau} = grad\left(div\,\bar{T}_P\right) + \gamma\ grad\ \delta. \qquad (2.8)$$

Вынеся в правой части этого уравнения, оператор градиента за общие скобки, преобразуем уравнение (2.8) к виду

$$\gamma\frac{1}{b^2}\frac{d\bar{j}_P}{d\tau} = grad\left(div\,\bar{T}_P + \gamma\delta\right). \qquad (2.9)$$

Таким образом, дифференциальное уравнение второго порядка (2.3) сведено к двум дифференциальным уравнениям первого порядка (2.7) и (2.9).

Определим дополнительное условие для вновь введенной векторной функции $\bar{j}_P$. С этой целью, взяв ротор от определения (2.7) и использовав условие (2.4), получим

$$rot\ \bar{j}_P = \frac{1}{\gamma}\frac{d}{d\tau}\left(rot\ \bar{T}_P\right) = 0. \qquad (2.10)$$

Соотношение (2.10) определяет потенциальность векторной функции $\bar{j}_P$. Определим также размерность векторной функции $\bar{j}_P$ из соотношения (2.7). Использовав для этого выражения (1.14) и (1.18), получим

$$\dim\ \bar{j}_P = [\text{г.см}^{-2}.\text{сек}^{-1}]. \qquad (2.11)$$

Заметим, что размерность вектора $\bar{j}_P$ совпадает с размерностью вектора плотности потока массы, определяемого известным соотношением $\bar{j}_M = \delta \bar{W}_M$, где $\delta$ - плотность массы, [г.см$^{-3}$]; $\bar{W}_M$ - скорость потока массы вещества, [см.сек$^{-1}$]; $\bar{j}_M$ - плотность потока массы, [г.см$^{-2}$.сек$^{-1}$]. Как видим, размерность вектора $\bar{j}_P$ в соотношении (2.9) совпадает с размерностью плотности потока массы $\bar{j}_M$. Кроме этого, из определения (2.5) также следует, что вектор $\bar{j}_P$ совпадает по направлению с вектором $\bar{T}_P$. В дальнейшем, по аналогии с током смещения в электродинамике, вектор $\bar{j}_P$ будем называть гравитационной плотностью тока смещения или просто током смещения. Соберем полученные выше уравнения (2.7), (2.9), (2.4) и (2.10) в единую систему

$$\frac{1}{\gamma}\frac{d\bar{T}_P}{d\tau} = \bar{j}_P, \qquad (2.12)$$

$$\frac{\gamma}{b^2}\frac{d\bar{j}_P}{d\tau} = grad\left(div\ \bar{T}_P + \gamma\delta\right), \qquad (2.13)$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0, \qquad (2.14)$$

$$rot\ \bar{j}_P = 0, \qquad (2.15)$$

где $\bar{T}_P$ - напряженность гравитационного поля;

$\bar{j}_P$ - гравитационная плотность тока смещения с размерностью

$$\dim\ \bar{j}_P = [\text{г.см}^{-2}.\text{сек}^{-1}]; \qquad (2.16)$$

$\gamma$ - гравитационная константа с размерностью

$$\dim\ \gamma = [\text{см}^{3}.\text{г}^{-1}.\text{сек}^{-2}]; \qquad (2.17)$$

$\delta$ - объемная плотность гравитационной массы вещества

$$\dim\ \delta = [\text{г.см}^{-3}]. \qquad (2.18)$$

Система уравнений (2.12__18) определяет в полных производных по времени динамическую взаимосвязь напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$ при заданной функции плотности массы $\delta$ и при заданной гравитационной константе $\gamma$. Соотношения (2.14) и (2.115) определяют потенциальность этих полей. Заметим также, что в соответствии с уравнением (2.12) векторы $\bar{T}_P$ и $\bar{j}_P$ совпадают по направлению.

Таким образом, в настоящем разделе произведено преобразование дифференциального уравнения гравитационного поля (1.9), представляющего собой дифференциальное уравнение второго порядка, - к системе дифференциальных уравнений первого порядка (2.12__15).

## 3. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

В предыдущем разделе была выведена система уравнений (2.12__15), определяющая в полных производных по времени динамическую взаимосвязь напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$, при заданной функции плотности массы вещества $\delta$. Как было отмечено ранее, полные производные для сложной векторной функции записываются для движущейся системы координат, где координаты сами являются функциями времени в виде скорости движения [11, с.395]. Таким образом, полная производная сложной векторной функции сама является комплексным выражением, в котором для проведения конкретных расчетов необходимо полные производные по времени преобразовать в частные производные. В связи с этим, задачей настоящего раздела ставится преобразование дифференциальных уравнений (2.12__15), полученных в предыдущем разделе, - из полных производных к частным. Напомним, что для произвольного векторного поля $\bar{P}$ в относительно неподвижной системе координат преобразование полной производной к частным производным производится по формуле, [13, с.128], то есть

$$\frac{d\bar{P}}{d\tau} = \frac{\partial \bar{P}}{\partial \tau} + \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{P}, \qquad (3.1)$$

где

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right). \qquad (3.2)$$

В формулах (3.1) и (3.2) $\bar{P}$ - произвольная векторная функция; $\bar{W}_X$ - скорость контрольной точки; $\bar{W}_N$ - скорость источника поля; $\bar{W}_Z$ - относительная скорость, определяемая соотношением (3.2).

Вернемся вновь к уравнениям (2.12) и (2.13) и произведем преобразования в этих уравнениях $d\bar{T}_P / d\tau$ и $d\bar{j}_P / d\tau$ к частным производным по аналогии с уравнением (3.1), то есть:

$$\frac{d\bar{T}_P}{d\tau} = \frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} + \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{T}_P , \tag{3.3}$$

$$\frac{d\bar{j}_P}{d\tau} = \frac{\partial \bar{j}_P}{\partial \tau} + \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{j}_P . \tag{3.4}$$

Соотношения (3.3) и (3.4) определяют в операторном (бескоординатном) виде преобразование индивидуальных производных $d\bar{T}_P / d\tau$ и $d\bar{j}_P / d\tau$ к частным производным в уравнениях (2.12) и (2.13). Подставив соотношение (3.3) в уравнение (2.12), а соотношение (3.4) - в уравнение (2.13), запишем преобразованные уравнения совместно с соотношениями (2.14), (2.15) и (3.2) в единую систему

$$\frac{1}{\gamma}\left\{\frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} + \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{T}_P\right\} = \bar{j}_P , \tag{3.5}$$

$$\frac{\gamma}{b^2}\left\{\frac{\partial \bar{j}_P}{\partial \tau} + \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{j}_P\right\} = grad\left(div\ \bar{T}_P + \gamma\delta\right), \tag{3.6}$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0 , \tag{3.7}$$

$$rot\ \bar{j}_P = 0 , \tag{3.8}$$

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right). \tag{3.9}$$

Система уравнений (3.5__9) определяет в относительно неподвижной системе координат динамическую взаимосвязь напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$ при заданной функции плотности массы материальной среды $\delta$, а также при заданных равномерных скоростях контрольной точки $\bar{W}_X$ и источника поля $\bar{W}_N$.

Преобразуем в соотношениях (3.5) и (3.6) вторые слагаемые к виду, более удобному для дальнейшего анализа. С этой целью используем известное векторное тождество (А2.10). Заменив в этом тождестве векторы $\bar{a} = \bar{T}_P$ и $\bar{b} = \bar{W}_Z$, запишем его в виде

$$grad\left(\bar{T}_P \bar{W}_Z\right) = \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{T}_P + \left(\bar{T}_P \nabla\right)\bar{W}_Z + \bar{T}_P * rot\ \bar{W}_Z + \bar{W}_Z * rot\ \bar{T}_P . \tag{3.10}$$

Запишем такое же аналогичное тождество (А2.10) для векторов $\bar{a} = \bar{j}_P$ и

$\bar{b} = \bar{W}_Z$, то есть

$$grad\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right) = \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{j}_P + \left(\bar{J}_P \nabla\right)\bar{W}_Z + \bar{j}_P * rot\, \bar{W}_Z + \bar{W}_Z * rot\, \bar{j}_P . \qquad (3.11)$$

Поскольку скорость движения контрольной точки $\bar{W}_Z$ постоянна по координатам, то есть $\bar{W}_Z = const$, то вторые и третьи слагаемые в уравнениях (3.10) и (3.11) равны нулю. Приняв во внимание выражения (3.7) и (3.8), получим, что четвертые слагаемые в соотношениях (3.10) и (3.11) равны нулю. Ввиду этого соотношения (3.10) и (3.11) упростятся к виду

$$grad\left(\bar{T}_P \bar{W}_Z\right) = \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{T}_P , \qquad (3.12)$$

$$grad\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right) = \left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{j}_P . \qquad (3.13)$$

Вернемся вновь к системе уравнений (3.5__9). Исключив из уравнений (3.5) выражение $\left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{T}_P$ посредством выражения (3.12), а также, исключив из уравнения (3.6) соотношение $\left(\bar{W}_Z \nabla\right)\bar{j}_P$ посредством выражения (3.13), преобразуем систему уравнений (3.5__9) к виду

$$\frac{1}{\gamma}\left\{\frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} + grad\left(\bar{T}_P \bar{W}_Z\right)\right\} = \bar{j}_P , \qquad (3.14)$$

$$\frac{\gamma}{b^2}\left\{\frac{\partial \bar{J}_P}{\partial \tau} + grad\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right)\right\} = grad\left(div\, \bar{T}_P + \gamma\delta\right), \qquad (3.15)$$

$$rot\, \bar{T}_P = 0 , \qquad (3.16)$$

$$rot\, \bar{j}_P = 0 , \qquad (3.17)$$

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right). \qquad (3.18)$$

Система уравнений (3.14__18) определяет в относительно неподвижной системе координат динамическую взаимосвязь напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$ при заданной функции плотности массы $\delta$ в контрольной точке, движущейся с равномерной скоростью $\bar{W}_X$ при том, что источник поля движется со своей равномерной скоростью $\bar{W}_N$ в другой области той же системы координат.

По поводу полученных выше уравнений дадим следующие разъяснения. Как известно, все параметры в уравнении должны относиться к одной точ-

ке пространства. Может показаться странным присутствие в уравнениях (3.14__18) параметра $\bar{W}_N$, определяющего скорость источника поля, находящегося не в контрольной точке, а в другой области пространства. Из опыта известно, что электрические и магнитные поля во всем пространстве движутся вместе со своими источниками, локализованными в ограниченной области пространства, с той же скоростью. Поэтому, задавая скорость источника, находящегося неизвестно где, мы задаем скорость его полей в контрольной точке. Таким образом, скорость $\bar{W}_N$ в уравнениях (3.14__18) это фактически скорость движения электрических и магнитных полей в контрольной точке.

Систему уравнений (3.14__18) будем называть в дальнейшем аксиоматическими уравнениями гравитационного поля.

Рассмотрим частный случай, вытекающий из системы уравнений (3.14__18) при условии неподвижности контрольной точки относительно источника гравитационного поля, то есть при условии $\bar{W}_Z = 0$. Проанализируем предварительно уравнение (3.14), которое при $\bar{W}_Z = 0$ примет вид

$$\frac{1}{\gamma}\frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} = \bar{j}_P . \tag{3.19}$$

Возьмем дивергенцию от уравнения (3.19), то есть

$$\frac{\partial}{\partial \tau}\left(\frac{1}{\gamma} div\ \bar{T}_P\right) = div\ \bar{j}_P . \tag{3.20}$$

Запишем также уравнение сохранения гравитационной массы [13, с.19], в виде

$$\frac{\partial \delta}{\partial \tau} = -div\ \bar{j}_M . \tag{3.21}$$

Определим взаимосвязь уравнений (3.20) и (3.21), для чего произведем разложение вектора $\bar{j}_M$ по теореме разложения Гельмгольца на потенциальную и соленоидальную составляющие как:

$$\bar{j}_M = \bar{j}_P + \bar{j}_S , \tag{3.22}$$

где

$$rot\ \bar{j}_P = 0 ; \tag{3.23}$$

$$div\ \bar{j}_S = 0 . \tag{3.24}$$

Подставив соотношение (3.22) в уравнение (3.21), получим

$$\frac{\partial \delta}{\partial \tau} = -div\ \bar{j}_P - div\ \bar{j}_S . \tag{3.25}$$

Подставив сюда соотношение (3.24), запишем

$$\frac{\partial \delta}{\partial \tau} = -div\ \bar{j}_P . \tag{3.26}$$

Таким образом, уравнение закона сохранения гравитационной массы (3.21) преобразовано, с использованием теоремы разложения Гельмгольца, к уравнению (3.26). Сравнив эти два уравнения, можно заключить, что в уравнении сохранения гравитационной массы, записанного в виде (3.21) в неявном виде содержатся две составляющие плотности тока массы, - потенциальная и соленоидальная, причем, соленоидальная составляющая в операции взятия дивергенции обнуляется. В результате, получаем формулу (3.26), где используется лишь потенциальная составляющая гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$.

Вернемся теперь вновь к уравнению (3.20). Подставив в рассматриваемое уравнение формулу (3.26), получим

$$\frac{\partial}{\partial \tau}\left(\frac{1}{\gamma} div\ \bar{T}_P\right) = -\frac{\partial \delta}{\partial \tau} . \tag{3.27}$$

Вынеся частную производную по времени за общие скобки, найдем

$$\frac{\partial}{\partial \tau}\left(\frac{1}{\gamma} div\ \bar{T}_P + \delta\right) = 0 . \tag{3.28}$$

Это уравнение удовлетворяется при равенстве выражения, заключенного в скобки, постоянному скалярному коэффициенту, то есть

$$\left(\frac{1}{\gamma} div\ \bar{T}_P + \delta\right) = \omega , \tag{3.29}$$

где $\omega$ - постоянный скалярный коэффициент.

Для проверки, взяв частную производную по времени от уравнения (3.29) и полагая, что $\partial\omega / \partial\tau = 0$, вновь получим исходное уравнение (3.28). Поскольку в условиях динамики функция $\omega$ неизвестна, то для условия динамики оставляем уравнение (3.28) без дальнейших преобразований. Запишем теперь систему уравнений (3.14__18) при условии относительной неподвижности контрольной точки, то есть при условии $\bar{W}_Z = 0$. Добавив также в рассматриваемые уравнения формулу (3.28), получим

$$\frac{1}{\gamma}\frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} = \bar{j}_P , \tag{3.30}$$

$$\frac{\gamma}{b^2}\frac{\partial \bar{j}_P}{\partial \tau} = grad\left(div\ \bar{T}_P + \gamma\delta\right), \tag{3.31}$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}\left(div\,\bar{T}_P + \gamma\delta\right) = 0, \tag{3.32}$$

$$rot\,\bar{T}_P = 0, \tag{3.33}$$

$$rot\;\bar{j}_P = 0. \tag{3.34}$$

Система уравнений (3.30__34) определяет динамическую взаимосвязь напряженности потенциального гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$ в контрольной точке, неподвижной относительно источника полей. Эти уравнения справедливы для случая, когда контрольная точка движется с той же скоростью, что и источник поля, а также в случае, когда источник поля и контрольная точка совмещены в одной точке и движутся с одинаковой скоростью.

Заметим, что в условиях динамики уравнение (3.32) не сводится к уравнению $\left(div\,\bar{T}_P + \gamma\delta\right) = 0$, поскольку в динамике, потенциальное гравитационное поле $\bar{T}_P$, раз возникнув, может распространяться далее и без гравитационных зарядов.

Рассмотрим систему уравнений (3.30__34) для условия статики, то есть при условиях $\partial\bar{T}_P / \partial\tau = 0$ и $\partial\bar{j}_P / \partial\tau = 0$. В результате получим

.

$$div\,\bar{T}_P = -\gamma\delta, \tag{3.35}$$

$$rot\,\bar{T}_P = 0. \tag{3.36}$$

Формула (3.35) определяет в статике взаимосвязь напряженности потенциального гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности массы $\delta$ при заданной гравитационной константе $\gamma$. Заметим, что формула (3.35) по структуре аналогична теореме Гаусса в электродинамике [15, с.24].

Рассмотрим теперь вопрос о возможности математического описания процесса распространения волн гравитационного поля $\bar{T}_P$ в свободном пространстве. С этой целью вернемся к системе уравнений (3.30__34) и произведем разделение переменных. С этой целью, взяв вторую производную по времени от выражения (3.30), и исключив из полученного уравнения вектор $\bar{j}_P$ подстановкой уравнения (3.31), запишем полученное уравнение совместно с соотношением (3.33) в единую систему

$$\frac{1}{b^2}\frac{\partial^2 \bar{T}_P}{\partial \tau^2} = grad\ div\ \bar{T}_P + \gamma\ grad\ \delta\,, \tag{3.37}$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0\,, \tag{3.38}$$

где $b$ - изодинимическая постоянная.

Преобразуем формулу (3.37) к классическому виду волнового уравнения. С этой целью обратимся к тождеству (А2.5), где обозначим $\bar{u} = \bar{T}_P$, то есть

$$rot\left(rot\ \bar{T}_P\right) = grad\left(div\ \bar{T}_P\right) - \Delta \bar{T}_P\,. \tag{3.39}$$

Подставив сюда соотношение (3.38), получим

$$grad\left(div\ \bar{T}_P\right) = \Delta \bar{T}_P\,. \tag{3.40}$$

Вернемся вновь к уравнению (3.37). Подставив в рассматриваемое уравнение определение (3.40), запишем полученное уравнение совместно с условием (3.38) в виде

$$\frac{1}{b^2}\frac{\partial^2 \bar{T}_P}{\partial \tau^2} = \Delta \bar{T}_P + \gamma\ grad\ \delta\,, \tag{3.41}$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0\,. \tag{3.42}$$

Формула (3.41), также как и (3.37), представляет собой неоднородное волновое уравнение, которое совместно с соотношением (3.42) определяет распространение продольных волн гравитационного поля $\bar{T}_P$, при заданной функции плотности гравитационной массы $\delta$ и при заданных константах $b$ и $\gamma$ в свободном пространстве вакуума.

Заметим, что поскольку формула (3.41) является волновым уравнением, то константа $b$, названная здесь изодинамической постоянной, определяет фазовую скорость распространения продольных волн гравитационного поля $\bar{T}_P$. Произведем оценку величины константы $b$ следующим образом. Для материальных сплошных сред известно, что скорость распространения в них продольных волн больше чем скорость поперечных. Поскольку электромагнитные волны – поперечные, то по аналогии можно ожидать, что скорость продольных гравитационных волн больше чем скорость поперечных электромагнитных волн, то есть можем записать $b$ >c, где c – электродинамическая постоянная, равная c=300000 км/сек. (скорость света). Поскольку величина $b$ неизвестна,

то для первого приближения в дальнейшем будем полагать, что изодинамическая постоянная $b$ равна электродинамической постоянной "с", то есть будем принимать $b$ =с.

Обратимся теперь вновь к системе уравнений (3.30__34) и решим ее относительно вектора $\overline{j}_P$. С этой целью возьмем частную производную по времени от уравнения (3.31), то есть

$$\frac{\gamma}{b^2}\frac{\partial^2 \overline{j}_P}{\partial \tau^2} = grad\,\frac{\partial}{\partial \tau}\left(div\,\overline{T}_P + \gamma\delta\right). \qquad (3.43)$$

Подставив в правую часть этого соотношения формулу (3.32), получим

$$\frac{\gamma}{b^2}\frac{\partial^2 \overline{j}_P}{\partial \tau^2} = 0. \qquad (3.44)$$

Из уравнения (3.44) следует, что гравитационная плотность тока смещения $\overline{j}_P$ в свободном пространстве в виде волн не распространяется.

Таким образом, в настоящем разделе дифференциальные уравнения гравитационного поля в полных производных по времени (2.12__15) преобразованы к частным производным (3.14__18), выведено волновое уравнение (3.41), определяющее совместно с соотношением (3.42) распространение волн гравитационного поля в свободном пространстве вакуума.

## 4. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Как уже отмечалось в разделе 1, закон всемирного тяготения Ньютона был открыт английским физиком Исааком Ньютоном в 1667 году на основании законов Кеплера, которые в свою очередь были открыты немецким астрономом Иоганном Кеплером на основании таблиц астрономических наблюдений планетарных орбит солнечной системы предыдущими поколениями астрономов. Таким образом, закон всемирного тяготения Ньютона в основе своей является эмпирическим законом в виде [13, с.17], полученным на основании астрономических наблюдений. Выше было отмечено также, что закон тяготения Ньютона не совсем точно описывает орбитальное движение планет, что связано, по-видимому, с тем, что этот закон записан для статического взаимодействия тел, а при расчете планетарных орбит необходимо также учитывать скорость относительного движения взаимодействующих тел. В предыдущем разделе получены динамические уравнения гравитации (3.14__18), определяющие динамику распространения гравитационных волн с учетом движущихся координат. Представляет интерес рассмотреть вывод формулы закона всемирного тяготения Ньютона из аксиоматических уравнений гравитационного поля (3.14__18), которые для условия неподвижных координат преобразованы далее к уравнениям (3.30__34), а для условия статики последние уравнения сводятся к уравнениям

(3.35) и (3.36). Поскольку уравнение (3.35) записано для условия статики, то в этом уравнении напряженность гравитационного поля обозначим как $\bar{T}_P = \bar{T}_0$ и запишем рассматриваемое уравнение в виде.

$$-div\ \bar{T}_0 = \gamma\delta\,, \tag{4.1}$$

где $\bar{T}_0$ - напряженность гравитационного поля в условиях стационарности и неподвижности контрольной точки относительно источника поля;

$\delta$ - плотность массы вещества;

$\gamma$ - гравитационная константа.

Формула (4.1) определяет дивергенцию напряженности гравитационного поля $\bar{T}_0$ с отрицательным знаком, равную плотности массы материальной среды $\delta$, умноженную на гравитационную константу $\gamma$. Можно видеть, что уравнение (4.1) подобно дифференциальной формуле теоремы Гаусса в электродинамике, но в отличие от последней - имеет противоположный знак. Добавленный индекс "0" к вектору $\bar{T}_0$ в формуле (4.1) определяет напряженность гравитационного поля в неподвижной контрольной точке, в отличие от аналогичной формулы, но с движущейся контрольной точкой, рассматриваемой в дальнейшем.

Рассмотрим вывод теоремы Гаусса применительно не к электрическому, а к гравитационному полю. Пусть в пространстве вакуума имеется некоторый объем, заполненный произвольным образом гравитационной массой материальной среды (см. рис. 4.1). Определим взаимосвязь напряженности гравитационного поля и плотности массы материальной среды в рассматриваемом объеме. С этой целью проинтегрируем формулу (4.1) по рассматриваемому объему как:

$$-\int_V div\ \bar{T}_0 dV = \gamma \int_V \delta\ dV\,. \tag{4.2}$$

Левый интеграл в формуле (4.2) преобразуем из объемного в поверхностный по известной формуле Остроградского, то есть

$$\int_V div\ \bar{T}_0 dV = \oiint_S \bar{T}_0 d\bar{S}\,, \tag{4.3}$$

где $S$ - поверхность, охватывающая объем $V$;

$d\bar{S}$ - бесконечно малый элемент поверхности $S$, направленный наружу из рассматриваемого объема.

Формула (4.3) определяет, что интеграл от дивергенции гравитационного

поля $\bar{T}_0$ по объему $V$ равен интегралу этого поля по поверхности $S$ рассматриваемого объема. Правый интеграл в формуле (4.2) по определению представляет собой величину массы материальной среды, сосредоточенной в объеме $V$, то есть

$$\int_V \delta \, dV = M \,, \tag{4.4}$$

где $M$ - масса материальной среды, расположенной в объеме $V$.

Подставив интегралы (4.3) и (4.4) в уравнение (4.2), получим

$$-\oint_S \bar{T}_0 d\bar{S} = \gamma M \,. \tag{4.5}$$

Формула (4.5) определяет, что отрицательный поток вектора гравитации $\bar{T}_0$, проникающий сквозь замкнутую поверхность $S$ произвольного объема $V$ равен произведению гравитационной константы $\gamma$ на алгебраическую сумму масс $M$, находящихся в рассматриваемом объеме $V$. Заметим, что формула (4.5) аналогична известной теореме Гаусса в электростатике применительно к электрическому заряду, но отличается противоположным знаком [15, с.15].

Произведем вывод закона всемирного тяготения Ньютона с использованием формулы (4.5). Задача ставится следующим образом. Пусть в трехмерном пространстве имеется относительно неподвижная точка "1", содержащая точечную массу $M_1$. Требуется, в другой произвольной точке "2", определить напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{02}$, создаваемую массой $M_1$. Для решения задачи определим радиус-вектор $\bar{r}$ от точки "1" до точки "2" как произведение его модуля $r$ на единичный вектор направления $\bar{m}_1$, то есть

$$\bar{r} = r \cdot \bar{m}_1 \,, \tag{4.6}$$

где $\bar{r}$ - радиус-вектор, определяющий положение точки "2" относительно точки "1";

$r$ - модуль радиус-вектора $\bar{r}$;

$\bar{m}_1$ - единичный вектор, определяющий направление радиус-вектора $\bar{r}$ от точки "1" до точки "2".

Заметим, что поскольку по условию задачи рассматривается отрицательная напряженность гравитационного поля, то вектор напряженности гравитационного поля $\bar{T}_0$ противоположен по направлению с единичным вектором $\bar{m}_1$.

Для удобства изложения задачи произведем дополнительное построение на рис. 4.1 следующим образом. Из точки "1", содержащей точечную массу $M_1$,

проведем радиусом $r$ сферу. При этом точка "2", определяемая радиус-вектором $\bar{r}$, будет находиться на поверхности построенной сферы, как показано на рис. 4.1.

Запишем формулу (4.5) применительно к рассматриваемой задаче. Поскольку масса $M$ находится целиком в центре сферы в точке "1", то обозначим ее как $M = M_1$. Поскольку напряженность гравитационного поля $\bar{T}_0$ определяется в контрольной точке "2", то обозначим ее как $\bar{T}_0 = \bar{T}_{02}$. С новыми обозначениями формула (4.5) применительно к рассматриваемой задаче примет вид

$$-\oint_S \bar{T}_{02} d\bar{S} = \gamma M_1 . \qquad (4.7)$$

Формула (4.7) определяет, что поток вектора гравитации $\bar{T}_{02}$, распространяющийся через замкнутую поверхность $S$ внутрь рассматриваемой сферы, равен величине точечной массы источника гравитации в центре этой сферы. Ввиду симметрии задачи вектор $\bar{T}_{02}$, приложенный в любой точке сферы, перпендикулярен ее поверхности. Отрицательный знак в уравнении (4.7) означает противоположное направление вектора $\bar{T}_{02}$ элементарному вектору поверхности $d\bar{S}$, а также единичному вектору $\bar{m}_1$. Ввиду этого представим в уравнении (4.7) вектор $\bar{T}_{02}$ в виде произведения его модуля $T_{02}$ на единичный вектор направления $\bar{m}_1$ с отрицательным знаком как:

$$\bar{T}_{02} = -T_{02}\bar{m}_1 . \qquad (4.8)$$

Здесь отрицательный знак присутствует ввиду того, что векторы $\bar{T}_{02}$ и $\bar{m}_1$ имеют противоположные направления. Подставив выражение (4.8) в интеграл формулы (4.7), запишем

$$\oint_S T_{02}\bar{m}_1 d\bar{S} = \gamma M_1 . \qquad (4.9)$$

Поскольку векторы $\bar{m}_1$ и $d\bar{S}$ совпадают по направлению, то их скалярное произведение равно модулю $dS$, то есть: $\bar{m}_1 d\bar{S} = dS$. Подставив последнее выражение в интеграл (4.9), получим

$$\oint_S T_{02} dS = \gamma M_1 . \qquad (4.10)$$

Виду симметрии задачи, скалярная величина $T_0$ одинакова на всей поверхности сферы, поэтому ее можно вынести из пол знака интеграла, то есть

$$T_{02}\oint_S dS = \gamma M_1. \tag{4.11}$$

Определим интеграл по поверхности сферы как функцию ее радиуса в виде

$$\oint_S dS = 4\pi r^2. \tag{4.12}$$

Подставив этот интеграл в уравнение (4.11), получим

$$T_{02} = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^2}. \tag{4.13}$$

Выражение (4.13) определяет величину напряженности гравитационного поля $T_{02}$ в контрольной точке "2", находящейся на расстоянии $r$ от точечного источника гравитационного поля с массой $M_1$.

Преобразуем формулу (4.13) к векторной форме. С этой целью умножим это уравнение на единичный вектор направления $\bar{m}_1$, то есть

$$T_{02}\bar{m}_1 = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^2}\bar{m}_1. \tag{4.14}$$

Исключив из этого соотношения левую часть подстановкой выражения (4.8), получим

$$-\bar{T}_{02} = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^2}\bar{m}_1. \tag{4.15}$$

Эту формулу можно сформулировать следующим образом. Точечная масса $M_1$, расположенная в свободном пространстве в точке "1", создает напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{02}$ в произвольной контрольной точке "2", расположенной на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$. Напомним, что единичный вектор $\bar{m}_1$ определен в формуле (4.6).

Рассмотрим еще один вариант формулы (4.15). С этой целью умножим числитель и знаменатель ее правой части на величину радиуса $r$, то есть

$$-\bar{T}_{02} = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^3}\left(r\,\bar{m}_1\right). \tag{4.16}$$

Подставив сюда определение (4.6), получим

$$-\bar{T}_{02} = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^3}\bar{r}. \tag{4.17}$$

Формула (4.17) также как и (4.15) определяет напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{02}$, создаваемую точечной массой $M_1$ в условиях статики.

Преобразуем исходную формулу (4.15) к виду формулы закона тяготения Ньютона. По определению, напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{02}$ есть сила, действующая на единицу массы тела в неподвижной контрольной точке. Ввиду этого, напряженность гравитационного поля в произвольной точке "2" можно определить, поместив в эту точку пробную массу $M_2$ и определить силу $\bar{F}_{02}$, действующую на пробную массу $M_2$, по формуле

$$\bar{T}_{02} = \bar{F}_{02} / M_2, \tag{4.18}$$

где $M_2$ - пробная масса в точке "2";

$\bar{F}_{02}$ - сила, действующая на пробную массу $M_2$.

При этом чтобы не нарушить радиальную симметрию гравитационного поля, масса $M_2$ в формуле (4.18) должна быть пренебрежимо малой по сравнению с массой $M_1$ в формуле (4.15), то есть должно выполняться условие

$M_2 << M_1$. Исключив из соотношения (4.15) вектор $\bar{T}_{02}$ посредством формулы (4.18), получим

$$-\bar{F}_{02} = \gamma \frac{M_2 M_1}{4\pi r^2} \bar{m}_1. \tag{4.19}$$

Приведем формулу (4.19) к выражению, известному как закон всемирного тяготения Ньютона. С этой целью объединим постоянные коэффициенты в этой формуле одним символом $\Gamma$ в виде

$$\Gamma = \gamma / 4\pi, \tag{4.20}$$

где $\Gamma$ - гравитационная постоянная;

$\gamma$ - гравитационная константа.

Подставив определение (4.20) в уравнение (4.19), получим

$$-\bar{F}_{02} = \Gamma \frac{M_2 M_1}{r^2} \bar{m}_1. \tag{4.21}$$

Формула (4.21) представляет собой закон всемирного тяготения Ньютона и определяет силу $\bar{F}_{02}$, действующую в статике на точечную пробную массу $M_2$ со стороны источника гравитационного поля в виде точечной массы $M_1$

на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$ от массы $M_1$ к массе $M_2$. Заметим, что формула (4.21) соответствует формуле [17, с.303]. Заметим также, что в соответствии с соотношением (4.20) гравитационная постоянная $\Gamma$ меньше чем гравитационная константа $\gamma$ в $4\pi$ раза и равна

$\Gamma = 6{,}670 \cdot 10^{-8}$ [см$^3$.г$^{-1}$ сек$^{-2}$], (см. [16, с.391]).

Формулу (4.21) можно преобразовать к другому виду, если умножить числитель и знаменатель правой части на величину радиуса $r$ и подставить определение (4.6). В результате можно получить

$$\bar{F}_{02} = -\Gamma \frac{M_2 M_1}{r^3} \bar{r} \,. \qquad (4.22)$$

Формула (4.22) также как и формула (4.21) представляет собой одну из форм закона всемирного тяготения Ньютона.

В заключение заметим, что представленные здесь формулы всемирного закона тяготения Ньютона (4.21) и (4.22) выведена из уравнения (4.5) для условий статики, то есть когда изменение полей во времени не происходит, а взаимодействующие массы относительно неподвижны. Теперь, когда формула тяготения Ньютона выведена, стало понятным, почему она дает ошибку при расчете аномального смещения перигелия Меркурия. Эта ошибка возникает ввиду того, что формула Ньютона справедлива для статических состояний планет, а на самом деле планеты имеют относительную скорость при движении по эллипсным орбитам.

Таким образом, в настоящем разделе выведены формулы, определяющие статические состояния гравитационного поля, аналогичные формулам статики электрического поля: дивергенция напряженности гравитационного поля (4.1), аналогичная дивергенции электрического поля [15, с.24]; поток вектора гравитации сквозь замкнутую поверхность (4.5), аналогичный интегральной теореме Гаусса [15, с.15]; формула напряженности гравитационного поля, создаваемого точечной массой (4.15), аналогична формуле напряженности электрического поля, создаваемого точечным электрическим зарядом; формула всемирного закона тяготения Ньютона (4.21), аналогичная формуле закона Кулона [13, с.19]. Резюмируя вышеизложенное можно заключить, что законы статики гравитационного поля аналогичны законам статики электрического поля.

Как известно, закон всемирного тяготения Ньютона оказался не совсем точным применительно к расчету орбитального движения планет. Небольшая, но систематическая погрешность при расчете орбитального движения планет обнаружилась еще в 1859 году, когда французский математик и астроном Урбен Леверье заметил аномальное смещение перигелия Меркурия, которое не удавалось объяснить на основе закона всемирного тяготения Ньютона. В связи

с этим, возникла задача коррекции этого закона с учетом скорости относительного движения тел. Во введении в результате анализа литературных данных было показано, что задача гравитационного взаимодействия планет с учетом скорости их относительного движения до настоящего времени окончательно не решена.

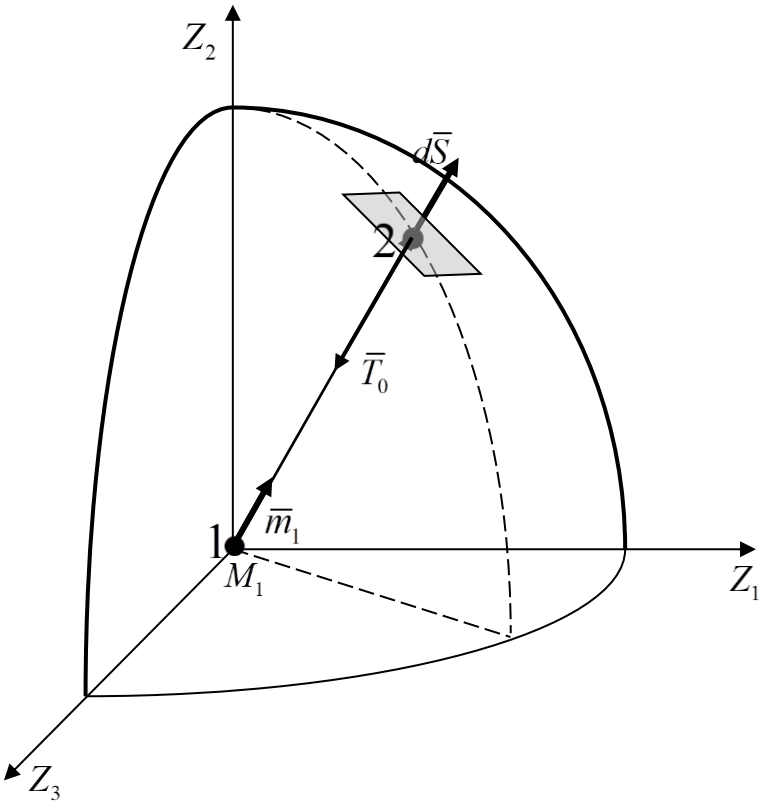



**Рис. 4.1**

## 5. ТЕОРЕМА О ДИВЕРГЕНЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ДВИЖУЩИХСЯ КООРДИНАТАХ

Для решения поставленной задачи в настоящем разделе, предварительно рассмотрим вопрос о том, какую форму приобретет гравитационное поле $\bar{T}_P$ в бесконечно малой окрестности точечной гравитационной массы, движущейся со скоростью $\bar{W}_Z$. Для лучшего понимания рассматриваемой задачи представим на рис. 5.1 свободное пространство во внешней системе координат $X_1X_2X_3$. На рисунке изображена точечная гравитационная масса $M$ с плотностью $\delta$, движущаяся с относительной скоростью $\bar{W}_Z$. Движущаяся масса создает гравитационный ток, который в виде вектора гравитационной плотности тока $\bar{j}_Z$

обозначен на рис. 5.1. Заметим, что поскольку $\bar{j}_Z = \delta \bar{W}_Z$, то векторы $\bar{W}_Z$ и $\bar{j}_Z$ совпадают по направлению, как это показано на рис.5.1. Гравитационная масса $M$ создает в окружающем пространстве гравитационное поле. Рассмотрим напряженность гравитационного поля в каком-либо определенном направлении в виде вектора $\bar{T}_P$. Поскольку направление вектора скорости гравитационной массы $\bar{W}_Z$ в общем случае не совпадает с заданным направлением вектора напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$, то обозначим угол между этими векторами как $\beta$. На рис.5.1 обозначены также проекции векторов $\bar{W}_Z$ и $\bar{j}_Z$ на направление вектора $\bar{T}_P$ в виде векторов $\bar{W}_P$ и $\bar{j}_P$ соответственно.

Для решения задачи рассмотрим аксиоматические уравнения гравитационного поля (3.14__18) применительно к полю точечной гравитационной массы $M$, движущейся в относительно неподвижной системе координат с равномерной скоростью. В рассматриваемой задаче ограничимся случаем стационарного процесса, когда производные по времени равны нулю, то есть $\partial \bar{T}_P / \partial \tau = 0$, $\partial \bar{j}_P / \partial \tau = 0$. В результате, рассматриваемая система упростится к виду

$$\frac{1}{\gamma} grad\left(\bar{T}_P \bar{W}_Z\right) = \bar{j}_P, \tag{5.1}$$

$$\frac{\gamma}{b^2} grad\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right) = grad\left(div\, \bar{T}_P + \gamma\delta\right), \tag{5.2}$$

$$rot\, \bar{T}_P = 0, \tag{5.3}$$

$$rot\, \bar{j}_P = 0, \tag{5.4}$$

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right), \tag{5.5}$$

где $\bar{W}_{\delta}$ - скорость контрольной точки;

$\bar{W}_N$ - скорость источника поля;

$\bar{W}_Z$ - вектор, определяемый формулой (5.5).

Напомним, что система уравнений (5.1__5) рассматривается для относительно неподвижной системы координат, где контрольная точка движется с равномерной скоростью $\bar{W}_{\delta}$, а источник гравитационного поля $M$, пересекающий в заданный момент эту точку, движется с другой равномерной скоростью $\bar{W}_N$, а разность этих скоростей $\bar{W}_Z$, названной здесь вектором относительной

скорости контрольной точки, определяется формулой (5.5). Заметим, что вектор, обозначенный на рис.(5.1) как $\bar{j}_P$, есть гравитационная плотность тока смещения в формулах (5.1) и (5.2). Заметим также, что как и в системе уравнений (3.14__18), - в системе уравнений (5.1__5) векторы $\bar{T}_P$ и $\bar{j}_P$ совпадают по направлению.

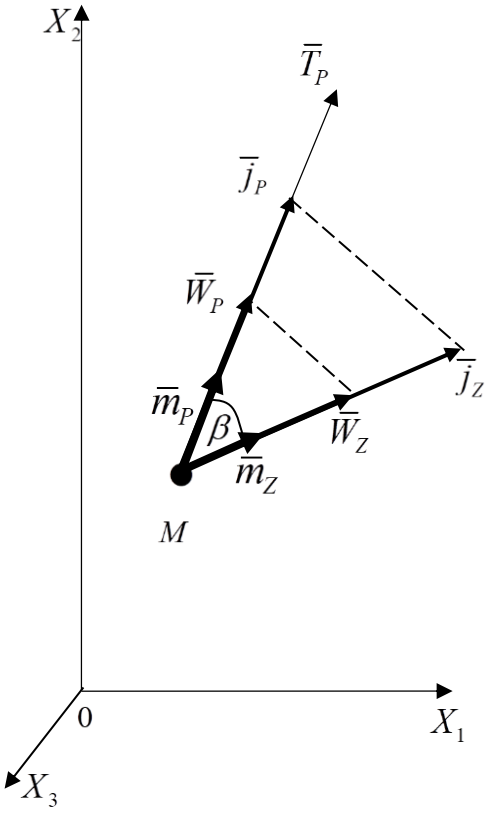



**Рис. 5.1**

Рассматриваемую задачу будем строить на базе уравнения (5.2), в котором вынесем оператор градиента за общие скобки:

$$grad\left( div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(\bar{j}_P\bar{W}_Z\right)\right) = 0\,.$$

Это уравнение удовлетворяется при равенстве выражения в скобках произвольному постоянному числу, то есть

$$\left( div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(\bar{j}_P\bar{W}_Z\right)\right) = \theta\,, \qquad (5.6)$$

где $\theta$ - произвольное постоянное число.

Для проверки, взяв градиент от соотношения (5.6) и учтя, что $grad\ \theta = 0$, получим исходное уравнение, что подтверждает правильность соотношения (5.6). Поскольку число $\theta$ произвольно, то примем его равным нулю, то есть $\theta = 0$. Ввиду этого, соотношение (5.6) упростим к виду

$$\left( div\ \bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right)\right) = 0. \qquad (5.7)$$

Для определения в этом уравнении вектора $\bar{j}_P$, представим этот вектор как произведение его модуля на единичный вектор направления, то есть

$$\bar{j}_P = j_P \bar{m}_P, \qquad (5.8)$$

где $\bar{j}_P$ - гравитационная плотность тока смещения;

$j_P$ - величина гравитационной плотности тока смещения по модулю;

$\bar{m}_P$ - единичный вектор направления вектора гравитационной плотности тока смещения.

Представим также в уравнении (5.7) скорость $\bar{W}_Z$ как произведение его модуля на единичный вектор направления, то есть

$$\bar{W}_Z = W_Z \bar{m}_Z, \qquad (5.9)$$

где $\bar{W}_Z$ - относительная скорость контрольной точки;

$W_Z$ - величина относительной скорости контрольной точки;

$\bar{m}_Z$ - единичный вектор направления относительной скорости контрольной точки.

Подставив соотношения (5.8) и (5.9) в уравнение (5.7), запишем

$$div\ \bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(\left(j_P \bar{m}_P\right)\left(W_Z \bar{m}_Z\right)\right) = 0. \qquad (5.10)$$

Перегруппируем в этом уравнении сомножители в третьем слагаемом. В результате получим

$$div\ \bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(j_P W_Z \left(\bar{m}_P \bar{m}_Z\right)\right) = 0. \qquad (5.11)$$

Скалярную величину $j_P$ в этой формуле найдем следующим образом. По

определению плотности гравитационного тока можем записать в виде

$$\delta \bar{W}_Z = \bar{j}_Z . \quad (5.12)$$

На рис. 5.1 показана взаимосвязь токов $\bar{j}_P$ и $\bar{j}_Z$, где ток $\bar{j}_P$ является проекцией тока $\bar{j}_Z$ на направление вектора $\bar{T}_P$. Ввиду этого модули векторов $j_P$ и $j_Z$ взаимосвязаны соотношением

$$j_P = j_Z |\cos\beta|, \quad (5.13)$$

где $\beta$ - угол между векторами $\bar{j}_Z$ и $\bar{j}_P$,

$|\cos\beta|$ - косинус угла $\beta$, взятый по модулю.

В формуле (5.13) косинус угла $\beta$ взят по модулю ввиду того, что модуль $j_P$ не может быть отрицательным.

На рис. 5.1 показана также взаимосвязь скоростей $\bar{W}_P$ и $\bar{W}_Z$, где скорость $\bar{W}_P$ является проекцией тока $\bar{W}_Z$ на направление вектора $\bar{E}_P$. Ввиду этого модули векторов $\bar{W}_P$ и $\bar{W}_Z$ взаимосвязаны соотношением

$$W_P = W_Z |\cos\beta|, \quad (5.14)$$

где $\beta$ - угол между векторами $\bar{W}_P$ и $\bar{W}_Z$.

$|\cos\beta|$ - косинус угла $\beta$, взятый по модулю.

Исключив теперь из уравнения (5.11) скаляр $J_P$ подстановкой соотношения (5.13), получим

$$div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(j_Z |\cos\beta| W_Z \left(\bar{m}_P \bar{m}_Z\right)\right) = 0 . \quad (5.15)$$

Произведение единичных векторов $\left(\bar{m}_P \bar{m}_Z\right)$ в рассматриваемой формуле равно косинусу угла между ними, то есть:

$$\left(\bar{m}_P \bar{m}_Z\right) = \cos\beta , \quad (5.16)$$

где $\beta$ - угол между единичными векторами $\bar{m}_P$ и $\bar{m}_Z$.

Подставив выражение (5.16) в уравнение (5.15), запишем

$$div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(j_Z |\cos\beta| W_Z \cos\beta\right) = 0 . \quad (5.17)$$

Определим в этом уравнении скалярную величину $J_Z$, записав формулу (5.12) в скалярном виде как:

$$\delta W_Z = j_Z . \tag{5.18}$$

Исключив из уравнения (5.17) скалярную величину $j_Z$ подстановкой соотношения (5.18), получим

$$div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \frac{\gamma}{b^2}\left(\delta W_Z \,|\cos\beta|\, W_Z \cos\beta\right) = 0 . \tag{5.19}$$

Перегруппировав в этом уравнении сомножители в третьем слагаемом, представим рассматриваемое уравнение в виде

$$div\,\bar{T}_P + \gamma\delta - \gamma\delta\frac{W_Z^2}{b^2}\left(|\cos\beta|\cos\beta\right) = 0 . \tag{5.20}$$

В этом уравнении квадрат скалярной величины $W_Z^2$, равен квадрату того же вектора, то есть

$$W_Z^2 = \left(\bar{W}_Z \cdot \bar{W}_Z\right) = \bar{W}_Z^2 . \tag{5.21}$$

Подставив это выражение в уравнение (5.20) и вынеся функцию $\delta$ за общие скобки, преобразуем полученное уравнение к виду

$$div\,\bar{T}_P = -\gamma\delta\left\{1 - \frac{\bar{W}_Z^2}{b^2}\left(|\cos\beta|\cos\beta\right)\right\}. \tag{5.22}$$

Формула (5.22) определяет в относительно неподвижной системе координат дивергенцию потенциального гравитационного поля $\bar{T}_P$ в контрольной точке, движущейся с относительной скоростью $\bar{W}_Z$, определяемой в векторном виде формулой (5.5), при заданной в этой точке плотности гравитационной массы $\delta$, а также при заданном угле $\beta$ между вектора $\bar{T}_P$ и $\bar{W}_Z$.

Для удобства дальнейших выкладок введем в уравнении (5.22) обозначение для выражения в фигурных скобках как

$$\phi = \left\{1 - \frac{\bar{W}_Z^2}{b^2}\cos\beta\,|\cos\beta\,|\right\}, \tag{5.23}$$

где $\phi$ - корректирующий коэффициент;

$\bar{W}_Z$ - вектор относительной скорости контрольной точки, определяемый формулой (5.5), то есть

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right); \tag{5.24}$$

$\bar{W}_X$ - равномерная скорость контрольной точки;

$\bar{W}_N$ - равномерная скорость источника гравитационного поля;

$b$ - изодинамическая постоянная;

$\beta$ - угол между векторами $\bar{T}_P$ и $\bar{W}_Z$;

$|\cos\beta|$ - косинус угла $\beta$, взятый по модулю.

Из формулы (5.23) следует, что коэффициент $\phi$ - безразмерная величина. Проанализируем возможные значения коэффициента $\phi$ следующим образом. Коэффициент $b$, входящий в знаменатель второго слагаемого рассматриваемой формулы, равен скорости света, - порядка $3 \cdot 10^8$ м/сек. Если относительная величина скорости $W_Z$ много меньше, чем величина $b$, то есть $W_Z << b$, то коэффициент $\phi$ при этом условии практически равен единице. Однако, с увеличением величины скорости $W_Z$ до скорости близкой к скорости света, коэффициент $\phi$ может уменьшиться до значения, близкого к нулю. Ввиду этого, коэффициент $\phi$, учитывающий релятивистский эффект, связанный с приближением величины относительной скорости контрольной точки $W_Z$ к скорости света, назван здесь корректирующим коэффициентом для гравитационного поля. Вернемся вновь к уравнению (5.22) и, подставив в него формулу (5.23), получим

$$div\,\bar{T}_P = -\phi\,\gamma\delta, \tag{5.25}$$

где $\bar{T}_P$ - напряженность гравитационного поля;

$\delta$ - плотность гравитационной массы;

$\phi$ - корректирующий коэффициент, определяемый формулой (5.23).

Формула (5.25) определяет дивергенцию напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$, равную плотности гравитационной массы $\delta$, умноженную на релятивистский коэффициент $\phi$ и на гравитационную константу $\gamma$. В свою очередь, корректирующий коэффициент $\phi$ определяется формулами (5.23) и (5.24). Вывод формулы (5.25) будем называть в дальнейшем теоремой о дивергенции

гравитационного поля в движущихся координатах.

Проанализируем некоторые частные случаи, вытекающие из уравнений (5.25) и (5.23). Рассмотрим формулу (5.25) при условии, что относительная скорость контрольной точки равна нулю, то есть $\bar{W}_Z = 0$. При этом из соотношения (5.23) получим $\phi = 1$. Полагая, что если $\phi = 1$, то $\bar{T}_P = \bar{T}_0$, запишем формулу (5.25) для рассматриваемого частного случая к виду

$$div\ \bar{T}_0 = -\gamma\delta\,, \tag{5.26}$$

где $\bar{T}_0$ - напряженность гравитационного поля при условии относительной неподвижности контрольной точки и источника поля.

Исключив из уравнения (5.25) выражение $\gamma\delta$ подстановкой формулы (5.26), получим

$$div\ \bar{T}_P = \phi\ div\ \bar{T}_0\,,$$

или

$$div\ \bar{T}_P = div\ \left(\phi\,\bar{T}_0\right). \tag{5.27}$$

Откуда следует

$$\boxed{\bar{T}_P = \bar{T}_0\phi\,,} \tag{5.28}$$

где $\phi$ - корректирующий коэффициент, определяемый соотношением (5.23);

$\bar{T}_0$ - напряженность гравитационного поля в неподвижных координатах;

$\bar{T}_P$ - напряженность гравитационного поля в движущихся координатах.

Напомним, что под движущимися координатами здесь подразумевается движение источника гравитационного поля с равномерной скоростью $\bar{W}_N$ и движение контрольной точки с равномерной скоростью $\bar{W}_X$.

Формула (5.28) определяет напряженность гравитационного поля $\bar{T}_P$, в движущейся контрольной точке, - по отношению к вектору напряженности гравитационного поля $\bar{T}_0$, которая бы имела место при нулевой относительной скорости контрольной точки в той же точке координатной системы.

Рассмотрим вывод теоремы о дивергенции гравитационного поля в интегральной форме в условиях относительного движения гравитационной массы. С этой целью проинтегрируем формулу (5.25) по произвольному объему $V$, то есть

$$\int_V div\,\bar{T}_P dV = -\int_V (\phi\,\gamma\delta)\,dV\,. \qquad (5.29)$$

Полагая, что в правом интеграле коэффициенты $\phi$ и $\gamma$ для рассматриваемого объема – в среднем постоянные величины, вынесем эти коэффициенты из-под интеграла и представим уравнение (5.29) в виде:

$$\int_V div\,\bar{T}_P dV = -\phi\,\gamma\int_V \delta dV\,. \qquad (5.30)$$

Левый интеграл в формуле (5.30) преобразуем из объемного в поверхностный по известной формуле Остроградского, то есть

$$\int_V div\,\bar{T}_P dV = \oint_S \bar{T}_P d\bar{S}\,, \qquad (5.31)$$

где $S$ - поверхность, охватывающая объем $V$;

$d\bar{S}$ - бесконечно малый элемент поверхности $S$, направленный наружу из рассматриваемого объема.

Формула (5.31) определяет, что интеграл от дивергенции векторного поля $\bar{T}_P$ по объему $V$ равен интегралу этого поля по поверхности $S$ рассматриваемого объема.

Правый интеграл в формуле (5.30) по определению представляет собой величину гравитационной массы, сосредоточенной в объеме $V$, то есть

$$\int_V \delta\,dV = M\,, \qquad (5.32)$$

где $M$ - сумма гравитационных масс, расположенных в объеме $V$.

Подставив интегралы (5.31) и (5.32) в уравнение (5.30), получим

$$\boxed{\oint_S \bar{T}_P d\bar{S} = -\phi\,\gamma M\,.} \qquad (5.33)$$

Формула (5.33) определяет, что поток вектора напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$, проникающий сквозь замкнутую поверхность $S$ произвольного объема $V$ равен алгебраической сумме гравитационных масс $M$, находящихся в рассматриваемом объеме $V$, умноженной на корректирующий коэффициент $\phi$ с отрицательным знаком и на гравитационную константу $\gamma$.

Таким образом, в настоящем разделе произведен вывод теоремы о дивергенции гравитационного поля в условиях равномерного движения контрольной

точки и источника поля с разными скоростями (см. формула 5.33). Заметим, что формула (5.33) отличается от аналогичной формулы (4.5), но полученной в условиях статики. Отличие, как видим, заключается в коэффициенте $\phi$, определяемом формулой (5.23) и учитывающим скорости контрольной точки и источника поля.

## 6. РАСШИРЕННАЯ ФОРМУЛА ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Как было отмечено в предыдущем разделе, гравитационное взаимодействие двух тел достаточно точно определяется законом всемирного тяготения Ньютона. Однако, из более точных наблюдений за орбитами планет известно аномальное смещение перигелиев планет, которое не объясняется законом тяготения Ньютона. Это можно объяснить тем, что закон тяготения Ньютона описывает взаимное притяжение тел в статике, а планеты движутся относительно друг друга ввиду эллипсности их орбит. Задачей настоящего раздела ставится определение гравитационного взаимодействия двух тел с учетом скорости их относительного движения. Основная идея заключается в том, что взаимное гравитационное притяжение двух тел зависит не только от их масс и расстояния друг от друга, как это предписывает закон всемирного тяготения Ньютона, но и от скорости относительного движения этих тел. Логика этого предположения заключается в том, что волны гравитационного поля распространяются от источника гравитации с конечной скоростью, что не учитывается в законе гравитации Ньютона. Если тело удаляется от источника поля с некоторой скоростью, то волнам гравитационного поля приходится "догонять" это тело, ввиду чего гравитационное взаимодействие при удалении от источника должно ослабевать. Предполагается, что если в пределе тело удаляется от источника поля со скоростью распространения гравитации, то волны гравитационного поля не смогут "догнать" тело и взаимное притяжение будет отсутствовать. Если же тело приближается к источнику поля с некоторой скоростью, то гравитационное взаимодействие должно напротив усилиться.

Для доказательства предполагаемого явления рассмотрим вывод закона всемирного тяготения Ньютона, в котором при взаимодействии гравитационных масс учитывались бы не только величины масс и расстояние между ними, но и скорости движения этих масс. Для вывода закона Ньютона для рассматриваемого случая обратимся к соотношению (5.28), в котором векторы $\bar{T}_P$ и $\bar{T}_0$ обозначим для контрольной точки "2" в виде $\bar{T}_{P2}$ и $\bar{T}_{02}$, то есть запишем соотношение (5.28) в эквивалентном виде

$$\bar{T}_{P2} = \bar{T}_{02}\phi, \tag{6.1}$$

где $\bar{T}_{02}$ - напряженность гравитационного поля

в неподвижных координатах, в контрольной точке "2";

$\bar{T}_{P2}$ - напряженность гравитационного поля в движущихся координатах, в контрольной точке "2";

$\phi$ - корректирующий коэффициент, определяемый формулой (5.23).

Подставив в уравнение (6.1) формулу (4.15), получим

$$\bar{T}_{P2} = -\phi\,\gamma\,\frac{M_1}{4\pi r^2}\,\bar{m}_1. \qquad (6.2)$$

Формула (6.2) определяет напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{P2}$ в контрольной точке "2", находящейся на расстоянии $r$ и в направлении единичного вектора $\bar{m}_1$, от источника этого поля в виде точечной гравитационной массы $M_1$, при том, что корректирующий коэффициент $\phi$, определяемый формулой (5.23), учитывает относительное движение координат.

Преобразуем формулу (6.2) виду формулы закона Ньютона. По определению, напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{P2}$ есть сила, действующая на единицу пробной гравитационной массы в контрольной точке. Запишем это определение, применительно к рассматриваемой задаче в виде

$$\bar{T}_{P2} = \bar{F}_{P2} / M_2, \qquad (6.3)$$

где $M_2$ - пробная гравитационная масса в точке "2";

$\bar{F}_{P2}$ - сила, действующая на пробную гравитационную массу $M_2$.

При этом чтобы не нарушить радиальную симметрию гравитационного поля, пробная гравитационная масса $M_2$ в формуле (64.3) должен быть пренебрежимо малой по сравнению с гравитационной массой $M_1$, то есть должно выполняться условие $M_2 << M_1$. Исключив из соотношения (6.2) вектор $\bar{T}_{P2}$ посредством формулы (6.3), запишем

$$\bar{F}_{P2} = -\gamma\,\frac{M_1 M_2}{4\pi r^2}\,\bar{m}_1\phi, \qquad (6.4)$$

Коэффициент $\phi$ в рассматриваемой формуле, названный корректирующим коэффициентом, определяется формулой (5.23), то есть

$$\phi = \left\{ 1 - \frac{\bar{W}_Z^2}{b^2} \cos\beta \,|\cos\beta| \right\}, \tag{6.5}$$

где $\bar{W}_Z$ - вектор относительной скорости контрольной точки, определяемый формулой (5.24), то есть

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right), \quad \text{или} \quad \bar{W}_Z = \left(\bar{W}_2 - \bar{W}_1\right); \tag{6.6}$$

$\bar{W}_X$ - равномерная скорость контрольной точки, равная скорости пробной гравитационной массы $M_2$, то есть $\bar{W}_X = \bar{W}_2$;

$\bar{W}_N$ - равномерная скорость источника гравитационного поля, равная скорости гравитационной массы $M_1$, то есть $\bar{W}_N = \bar{W}_1$;

$\beta$ - угол между векторами $\bar{F}_{P2}$ и $\bar{W}_Z$;

$|\cos\beta|$ - косинус угла $\beta$, взятый по модулю;

$b$ - изодинамическая постоянная, которая принята равной электродинамической постоянной "$\tilde{n}$", то есть $b = c$.

Формула (6.4) представляет собой расширенный закон всемирного тяготения Ньютона и определяет силу $\bar{F}_{P2}$, действующую на точечную пробную гравитационную массу $M_2$ со стороны точечного источника гравитационного поля $M_1$ на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$, при том, что гравитационные массы $M_1$ и $M_2$ движутся с равномерными скоростями $\bar{W}_1$ и $\bar{W}_2$ соответственно.

Преобразуем уравнение (6.4) к виду, более близкому формуле всемирного тяготения Ньютона. С этой целью объединим постоянные коэффициенты в этой формуле одним символом $\Gamma$, как и в формуле (4.20) в виде

$$\Gamma = \gamma / 4\pi, \tag{6.7}$$

где $\Gamma$ - гравитационная постоянная;

$\gamma$ - гравитационная константа.

Подставив определение (6.7) в уравнение (6.4), запишем

$$\boxed{\bar{F}_{P2} = -\Gamma \frac{M_2 M_1}{r^2} \bar{m}_1 \phi}. \tag{6.8}$$

Формула (6.8) представляет собой расширенную формулу закона всемирного тяготения Ньютона и определяет силу $\bar{F}_{P2}$, действующую на точечную массу $M_2$ со стороны точечной массы $M_1$ на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$ от массы $M_1$ к массе $M_2$. Коэффициент $\phi$, называемый здесь корректирующим коэффициентом, определяется со-

отношением (6.5), в котором учитывается относительная скорость движения $W_Z$ точечной массы $M_2$ относительно массы $M_1$. Заметим также, что в соответствии с соотношением (6.7) гравитационная постоянная $\Gamma$ меньше чем гравитационная константа $\gamma$ в $4\pi$ раза и равна

$\Gamma = 6{,}670 \cdot 10^{-8}$ [см$^3$.г$^{-1}$ сек$^{-2}$], (см. [16], с.391).

Рассмотрим случай, когда два тела $M_1$ и $M_2$ взаимно неподвижны. В этом случае согласно формуле (6.6) $\bar{W}_Z = 0$ и в формуле (6.5) следует принять $\bar{W}_Z^2 = 0$, ввиду чего коэффициент $\phi$ становится равным единице, а формула (6.8) упрощается к формуле всемирного тяготения Ньютона (4.21). Поскольку формула всемирного тяготения Ньютона (4.21) является частным случаем более общей формулы (6.8), последнюю предлагается называть расширенной формулой закона всемирного тяготения Ньютона.

Формулу (6.8) можно преобразовать к другому виду, если умножить числитель и знаменатель правой части на величину радиуса $r$ и использовать определение (4.6). В результате можно получить

$$\boxed{\bar{F}_{P2} = -\Gamma \frac{M_2 M_1}{r^3} \bar{r} \phi .} \qquad (6.9)$$

Формула (6.9) также как и формула (6.8) представляет собой одну из форм расширенного закона всемирного тяготения Ньютона, где параметр $\phi$, определяемый соотношением (6.5) , корректирует силу гравитационного тяготения планет за счет их относительного движения,

Рассмотрим некоторые частные случаи гравитационного взаимодействия двух тел, вытекающие из уравнения (6.9). Если тело массой $M_2$, двигаясь по радиусу (при $\beta = 0$) от массы $M_1$ со скоростью $\bar{W}_Z$, достигнет скорости распространения гравитации "$b$", то для этого случая в соотношении (6.5) следует принять $\bar{W}_Z^2 = b^2$ и $\cos\beta = 1$. При этом $\phi = 0$ и из формулы (6.9) следует $\bar{F}_{P2} = 0$. Это означает, что если тело с массой $M_2$ движется по радиусу от массы $M_1$ со скоростью распространения гравитационных волн, то гравитационное поле не "догоняет" тело $M_2$ и последнее не подвергается гравитационному воздействию. Напротив, если тело $M_2$ движется по радиусу к источнику гравитации со скоростью распространения гравитационного поля, то для этого случая в формуле (6.5) следует принять $\beta = \pi$, $\cos\beta = -1$. При этом $\phi = 2$, а уравнение (6.9) получит вид

$$\bar{F}_{02} = -\Gamma \frac{M_2 M_1}{r^3} \bar{r}_1 \cdot 2 . \qquad (6.10)$$

Формула (6.10) показывает, то при сближении пробного тела с источником поля со скоростью распространения гравитационного поля, сила гравитации удваивается.

Напомним, что все варианты представленных здесь формул расширенного всемирного тяготения Ньютона (6.4), (6.8) и (6.9) выведены из аксиоматических уравнений гравитационного поля (3.14__18) для условия стационарности, то есть при $\partial / \partial \tau = 0$.

В заключение заметим, что в настоящем разделе выведена формула гравитационного взаимодействия двух точечных масс в условиях относительного движения (6.9). Поскольку эта формула при отсутствии относительного движения тел сводится к уравнению всемирного тяготения Ньютона, то ее предлагается называть расширенной формулой закона всемирного тяготения Ньютона. Заметим также, что аномальное смещение перигелия Меркурия не удалось объяснить законом тяготения Ньютона ввиду того, что закон Ньютона объясняет притяжение тел в статике, а в действительности планеты движутся относительно друг друга. Ввиду этого формула расширенного закона всемирного тяготения Ньютона (6.9), полученная в настоящей работе, призвана скорректировать расчеты по аномальному смещению перигелиев планет солнечной системы.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В настоящей работе разработана альтернативная теория гравитационного поля, опирающаяся на выводы работы [13], в основе которой положена гипотеза о том, что электрические, магнитные и гравитационные поля являются составляющими единого гипотетического поля, которое названо гравитонным полем. В настоящей работе на основе динамического уравнения гравитонного поля развита альтернативная теория гравитации для движущихся координат, представленная следующей системой уравнений

$$\frac{1}{\gamma}\left\{\frac{\partial \bar{T}_P}{\partial \tau} + grad\left(\bar{T}_P \bar{W}_Z\right)\right\} = \bar{j}_P, \tag{3.14}$$

$$\frac{\gamma}{b^2}\left\{\frac{\partial \bar{J}_P}{\partial \tau} + grad\left(\bar{j}_P \bar{W}_Z\right)\right\} = grad\left(div\,\bar{T}_P + \gamma\delta\right), \tag{3.15}$$

$$rot\,\bar{T}_P = 0, \tag{3.16}$$

$$rot\,\bar{j}_P = 0, \tag{3.17}$$

$$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_X - \bar{W}_N\right), \tag{3.18}$$

где $\bar{T}_P$ - гравитационное поле, dim $\bar{T}_P = [\text{см.сек}^{-2}]$;

$\delta$ - плотность материальной среды, dim $\delta = [\text{г.см}^{-3}]$;

$\gamma$ - гравитационная константа, dim $\gamma = [\text{см}^3.\text{г}^{-1}\ \text{сек}^{-2}]$.

$b$ - изодинамическая постоянная, dim $b = [\ \text{см.сек}^{-1}]$;

$\bar{j}_P$ - гравитационная плотность тока смещения, $[\text{г.см}^{-2}.\text{сек}^{-1}]$;

$\bar{W}_X$ - скорость контрольной точки;

$\bar{W}_N$ - скорость источника поля;

$\bar{W}_Z$ - относительная скорость, определяемая соотношением (3.18).

Система уравнений (3.14__18) определяет в относительно неподвижной системе координат динамическую взаимосвязь напряженности гравитационного поля $\bar{T}_P$ и гравитационной плотности тока смещения $\bar{j}_P$ при заданной функции плотности массы $\delta$ в контрольной точке, движущейся с равномерной скоростью $\bar{W}_X$ при том, что источник поля движется со своей равномерной скоростью $\bar{W}_N$ в другой области той же системы координат.

Уравнения (3.14__18) являются базовыми уравнениями альтернативной теории гравитации, развитой в настоящей работе, и служат основой для вывода, как известных уравнений гравитации, так и новых зависимостей, представленных ниже. Нумерация формул в настоящих выводах соответствует нумерации соответствующих формул по тексту статьи.

1. Выведено волновое уравнение, определяющее распространение в свободном пространстве продольных волн гравитационного поля (формула (3.41)).

$$\frac{1}{b^2}\frac{\partial^2 \bar{T}_P}{\partial \tau^2} = \Delta \bar{T}_P + \gamma\ grad\ \delta\ , \tag{3.41}$$

$$rot\ \bar{T}_P = 0\ . \tag{3.42}$$

Формула (3.41) представляет собой неоднородное волновое уравнение, которое совместно с соотношением (3.42) определяет распространение продольных волн гравитационного поля $\bar{T}_P$ в свободном пространстве вакуума, при заданной функции плотности гравитационной массы $\delta$ и при заданных константах $b$ и $\gamma$.

2. Выведена формула, определяющая дивергенцию напряженности гравитационного поля (4.1)

$$-div\,\bar{T}_0 = \gamma\delta\,, \tag{4.1}$$

Формула (4.1) определяет дивергенцию напряженности гравитационного поля $\bar{T}_0$ с отрицательным знаком, равную плотности массы материальной среды $\delta$, умноженную на гравитационную константу $\gamma$. Можно видеть, что уравнение (4.1) подобно дифференциальной формуле теоремы Гаусса [15, с.24] в электродинамике, но в отличие от последней - имеет противоположный знак.

3. Выведена формула, определяющая поток вектора гравитации сквозь замкнутую поверхность (4.5) в виде

$$-\oint_S \bar{T}_0 d\bar{S} = \gamma M\,. \tag{4.5}$$

Формула (4.5) определяет, что отрицательный поток вектора гравитации $\bar{T}_0$, проникающий сквозь замкнутую поверхность $S$ произвольного объема $V$ равен произведению гравитационной константы $\gamma$ на алгебраическую сумму масс $M$, находящихся в рассматриваемом объеме $V$. Заметим, что формула (4.5) аналогична известной теореме Гаусса в электростатике применительно к электрическому заряду, но отличается противоположным знаком [15, с.15].

4. Выведена формула, определяющая напряженности гравитационного поля, создаваемой точечной массой (4.15),

$$-\bar{T}_{02} = \gamma \frac{M_1}{4\pi r^2}\bar{m}_1\,. \tag{4.15}$$

Эту формулу можно сформулировать следующим образом. Точечная масса $M_1$, расположенная в свободном пространстве в точке "1", создает напряженность гравитационного поля $\bar{T}_{02}$ в произвольной контрольной точке "2", расположенной на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$. Заметим, что формула (4.15) аналогична известной теореме Гаусса в электростатике применительно к формуле напряженности электрического поля, создаваемого точечным электрическим зарядом [15, с.10];

5. Выведена формула всемирного закона тяготения Ньютона (4.21),

$$-\bar{F}_{02} = \Gamma \frac{M_2 M_1}{r^2}\bar{m}_1\,, \tag{4.21}$$

где $\Gamma = \gamma / 4\pi$.

Формула (4.21) представляет собой закон всемирного тяготения Ньютона и определяет силу $\bar{F}_{02}$, действующую в статике на точечную пробную массу

$M_2$ со стороны источника гравитационного поля в виде точечной массы $M_1$ на расстоянии $r$ в направлении, определяемым единичным вектором $\bar{m}_1$ от массы $M_1$ к массе $M_2$. Заметим, что формула (4.21) соответствует формуле [17, с.303]. Теперь, когда формула тяготения Ньютона выведена, стало понятным, почему она дает ошибку аномального смещения перигелия Меркурия. Эта ошибка возникает ввиду того, что формула тяготения Ньютона справедлива для статических состояний планет, а на самом деле планеты имеют относительную скорость при движении по эллипсным орбитам, что необходимо учитывать.

6. Выведена расширенная формула закона всемирного тяготения Ньютона (6.9), отличающаяся корректирующим коэффициентом $\phi$, учитывающим относительное движение гравитирующих масс вещества. Представим формулу (6.9) в виде

$$\bar{F}_{P2} = -\Gamma \frac{M_2 M_1}{r^3} \bar{r}\,\phi, \tag{6.9}$$

где $\bar{F}_{P2}$ - гравитационная сила, действующая на массу $M_2$ со стороны массы $M_1$;

$\Gamma$ - гравитационная постоянная;

$\phi$ - корректирующий коэффициент, определяемый по формуле (6.5)

$$\phi = \left(1 - \frac{\bar{W}_Z^2}{b^2} \cos\beta \,|\cos\beta|\right); \tag{6.5}$$

$\bar{W}_Z = \left(\bar{W}_2 - \bar{W}_1\right)$ - относительная скорость; (6.6)

$\bar{W}_2$ - равномерная скорость гравитационной массы $M_2$;

$\bar{W}_1$ - равномерная скорость гравитационной массы $M_1$;

$\beta$ - угол между вектором гравитационной силы $\bar{F}_{P2}$ и вектором относительной скорости $\bar{W}_Z$;

$|\cos\beta|$ - косинус угла $\beta$ по модулю;

$b$ - изодинамическая постоянная, равная электродинамической постоянной "с" (скорость света).

Формула (6.9) совместно с соотношениями (6.5) и (6.6) представляет собой расширенную формулу закона всемирного тяготения Ньютона и определяет силу $\bar{F}_{P2}$, действующую на точечную массу $M_2$ со стороны точечной массы $M_1$ на расстоянии $\bar{r}$, при том, что массы $M_1$ и $M_2$ для заданного момента времени движутся с равномерными скоростями $\bar{W}_1$ и $\bar{W}_2$ соответственно.

Из формул (6.9) и (6.5) следует, что поскольку на практике $W_Z << b$, то влияние относительных скоростей гравитационных масс на силу их взаимодействия чрезвычайно мало и существенно лишь при релятивистских скоростях. Известно, что при расчете орбит для планет солнечной системы по формуле Ньютона (4.21) имеет место аномальное смещение перигелиев. Ввиду этого формула расширенного закона всемирного тяготения Ньютона (6.9), призвана объяснить аномальное смещение перигелиев планет солнечной системы, происходящее за счет относительной скорости планет.

Заметим, что аномальное смещение перигелиев планет Солнечной системы объясняется также и ОТО Эйнштейна, однако, предлагаемая в настоящей статье теория гравитации и в частности формула (6.9), опирается на классические представления физики пространства и времени и является альтернативной теорией.

Таким образом, в настоящей статье изложена альтернативная теория гравитации, опирающаяся на классические представления пространства и времени и основанная на гипотезе, что электрические, магнитные и гравитационные поля являются составляющими единого гипотетического поля, названного гравитонным полем, а также на уравнении гравитонного поля, принятого в качестве аксиомы.

**Приложение А1**

**Таблица 1**

| Гравитационные единицы размерностей в системе СГС | | |
|---|---|---|
| Наименование | | Единицы |
| Масса | $M$ | г |
| Плотность гравитационной массы | $\delta$ | г.см$^{-3}$ |
| Напряженность гравитонного поля | $\bar{T}$ | см.сек$^{-2}$ |
| Напряженность гравитационного поля | $\bar{T}_P$ | см.сек$^{-2}$ |
| Напряженность гравитомагнитного поля | $\bar{T}_S$ | см.сек$^{-2}$ |
| Плотность потока массы | $\bar{j}_M$ | г.см$^{-2}$ сек$^{-1}$ |
| Плотность потенциальн. потока массы | $\bar{j}_P$ | г.см$^{-2}$ сек$^{-1}$ |
| Плотность соленоидальн. потока массы | $\bar{j}_S$ | г.см$^{-2}$ сек$^{-1}$ |
| Гравитационная константа | $\gamma$ | см$^3$.г$^{-1}$.сек$^{-2}$ |
| Гравитационная постоянная, $\Gamma = \gamma / 4\pi$ | $\Gamma$ | см$^3$.г$^{-1}$.сек$^{-2}$ |
| Электродинамическая постоянная | $c$ | см.сек$^{-1}$ |
| Изодинамическая постоянная | $b$ | см.сек$^{-1}$ |
| Скорость | $\bar{W}$ | см.сек$^{-1}$ |
| Корректирующий коэффициент | $\phi$ | - |
| Сила | $\bar{F}$ | г.см .сек$^{-2}$ |

**Приложение А2**

Вторые производные

$$div\left(grad\ \varphi\right)=\Delta\varphi=\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_3^2}, \quad (A2.1)$$

$$\Delta\bar{u}=\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\bar{u}}{\partial x_3^2}, \quad (A2.2)$$

$$rot\left(grad\ \varphi\right)=0, \quad (A2.3)$$

$$div\left(rot\ \bar{u}\right)=0, \quad (A2.4)$$

$$rot\left(rot\ \bar{u}\right)=grad\left(div\ \bar{u}\right)-\Delta\bar{u}. \quad (A2.5)$$

Производные от произведений

$$grad\left(\varphi\,\psi\right)=\psi\ grad\varphi+\varphi\ grad\ \psi \quad , \quad (A2.6)$$

$$div\left(\varphi\,\bar{u}\right)=\varphi\ div\ \bar{u}+\bar{u}\ grad\ \varphi, \quad (A2.7)$$

$$rot\left(\varphi\,\bar{u}\right)=\varphi\ rot\ \bar{u}+grad\ \varphi*\bar{u}, \quad (A2.8)$$

$$div\left(\bar{a}*\bar{b}\right)=\bar{b}\ rot\ \bar{a}-\bar{a}\ rot\ \bar{b}, \quad (A2.9)$$

$$grad\left(\bar{a}\,\bar{b}\right)=\left(\bar{b}\nabla\right)\bar{a}+\left(\bar{a}\nabla\right)\bar{b}+\bar{a}*rot\ \bar{b}+\bar{b}*rot\ \bar{a}, \quad (A2.10)$$

$$rot\left(\bar{a}*\bar{b}\right)=\left(\bar{b}\nabla\right)\bar{a}-\left(\bar{a}\nabla\right)\bar{b}+\bar{a}\ div\ \bar{b}-\bar{b}\ div\ \bar{a}. \quad (A2.11)$$

Преобразуем уравнения (А2.10) и (А2.11) при условии $\bar{b}=const$. В этом случае вторые и третьи слагаемые в упомянутых уравнениях обращаются в ноль и они упрощаются к виду

$$grad\left(\bar{a}\,\bar{b}\right)=\left(\bar{b}\nabla\right)\bar{a}+\bar{b}*rot\ \bar{a}, \quad (A2.12)$$

$$rot\left(\bar{a}*\bar{b}\right)=\left(\bar{b}\nabla\right)\bar{a}-\bar{b}\ div\ \bar{a}. \quad (A2.13)$$

Исключив из этих уравнений выражение $\left(\bar{b}\nabla\right)\bar{a}$, получим

$$grad\left(\bar{a}\,\bar{b}\right)-\bar{b}*rot\ \bar{a}=rot\left(\bar{a}*\bar{b}\right)+\bar{b}\ div\ \bar{a}. \quad (A2.14)$$

Тождество (А02.14) получено при условии $\bar{b}=const$.

Литература к приложениям

1. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М.: Изд-во "Наука", 1965. -427 с.

**Список источников**

1. Семиков С.А. "Неточности космической навигации и баллистические поправки". // Инженер. 2014. № 1.
2. Андерсон Дж. // Земля и Вселенная. 2002. №5.
3. Anderson J.D., Nieto M.M.; http://arxiv.org/pdf/0907.2469v2.pdf.
4. Anderson J.D. et al. // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. P. 2858.
5. Anderson J.D., Lau E.L., Giampieri G.
6. Мюльман Д.О. Связь между системой астрономических постоянных и радиолокационными измерениями астрономической единицы. В кн.: Фундаментальные постоянные астрономии, 1967, М. Мир, с.181–208.
7. Салль С.А. Истоки и заблуждения релятивизма. Взгляд через столетие.
8. Логунов А.А. Релятивистская теория гравитации. - М.: Наука, 2006. - 253 с.
9. Бурланков Д.Е. Динамика пространства. - Н.Новгород: издательство ННГУ им. Н.И. Лобачевского 2005. - 179
10. Альтернативные теории гравитации. Материалы из свободной русской энциклопедии «Традиция».
11. Бермант А.Ф. Краткий курс математического анализа. М., НАУКА, 1966, 736 с.
12. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. - М.: "Наука", 1965, 427 с.
13. Филимонов В.Е. Единая аксиоматическая теория гравитации и электромагнетизма. – Москва: Первый том, 2023. – 394. Адреса в интернете: aksioma1.ru/ и aksioma1.com/
14. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. М., НАУКА, 1965. 778 с.
15. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2000. – 352 с.: ил.
16. Колпаков П.Е. Основы ядерной физики. Учеб. Пособие для пед. ин-тов. М., “Просвящение”, 1968. 400 с.
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. I, Механика. М., Наука, 1978 г. 520 с.

# РАЗДЕЛ IV. ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

УДК 800

# ГЛАВА 10. ГЕНДЕРНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА В ЗАРУБЕЖНОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЛИНГВИСТИКЕ

**Грушина Маргарита Владимировна**
к.ф.н., доцент
**Линева Елена Александровна**
к.ф.н., доцент
**Сахарова Анна Владимировна**
к.филос.н.,
**Овчинникова Мария Викторовна**
к.п.н., доцент
ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»

**Аннотация:** данное исследование посвящено проблеме гендерных исследований в отечественном и зарубежном языкознании. В работе дается обзор работ по изучению гендера в современной лингвистике, а также уделяется особое внимание этапам становления гендерных исследований как отдельной отрасли языкознания в России и за рубежом.
**Ключевые слова:** гендер, гендерные исследования, пол и гендер, гендерные исследования в лингвистике

**GENDER ISSUES IN FOREIGN AND DOMESTIC LINGUISTICS**

**Grushina Margarita Vladimirovna,**
**Lineva Elena Alexandrovna,**
**Sakharova Anna Vladimirovna,**
**Ovchinnikova Maria Viktorovna**

**Abstract:** This study is devoted to the problem of gender studies in domestic and foreign linguistics. The paper provides an overview of works on the study of gender in modern linguistics, and also pays special attention to the stages of the formation of gender studies as a separate branch of linguistics in Russia and abroad.
**Key words:** gender, gender studies, sex and gender, gender studies in linguistics

Интерес к проблеме гендерных исследований возник в конце шестидесятых годов двадцатого века, но особую популярность гендерная дифференциация мужчин и женщин приобрела в девяностых годах благодаря появлению в массовой культуре таких книг как «Мужчины с Марса, женщины с Венеры», в которых психологи описывали наиболее яркие психологические и поведенческие различия между полами. Например, было установлено, что женщины рассматривают процесс коммуникации как способ эмоционального общения с дру-

гими людьми, тогда как мужчины используют беседу как практический инструмент для достижения поставленной цели; женщины умеют слушать, устанавливать взаимопонимание с другими, избегать или разрешать конфликты, мужчины чаще противостоят друг другу и менее чувствительны к своим собственным чувствам или чувствам других. Таким образом можно сделать вывод, что основное назначение подобного рода литературы состояло в том, чтобы помочь мужчинам и женщинам лучше понимать друг друга, а также наладить взаимоотношения супружеских пар, поскольку основные тезисы, которые Дж. Грэй приводит в своем произведении, основаны на наблюдении за супружескими парами, находящимися в браке достаточно долгое время и испытывающими некоторые трудности в общении [10, с.112].

Рассматривая проблематику гендера с научной точки зрения, можно заметить, что данный процесс отличается от научно-популярного своими методами, подходами и более точной категоризацией и каталогизацией полученных данных. Также следует обратить внимание на то, что становление гендерных исследований в отдельную научную область в России и за рубежом происходило неравномерно.

Известно, что к понятию «гендер» ученые обратились в конце 1960-х — начале 1970-х годов в рамках социологии, психологии, истории и других научных дисциплин. В основу ранних гендерных исследований были положены принципы, связанные с поведением мужчин и женщин в низко развитых обществах, например, в экзотических племенах [3, с.46].

Британский социолог А. Гидденс в своих исследованиях определяет пол как «биологические или анатомические различия между мужчиной и женщиной, тогда как гендер касается психологических, социальных и культурных различий между мужчиной и женщиной» [9, с. 82]. Согласно его концепции пол — это то, что дано человеку при рождении и его можно определить с точки зрения объективных научных и биологических критериев. Гендер, с другой стороны, является социальной собственностью: чем-то приобретенным или созданным в результате приверженности человека определенным культурным нормам и запретам.

Дж. Батлер дает следующее определение понятию «гендер» - «это не то, с чем мы рождаемся и не что-то, что у нас есть, а то, что мы делаем, то, что мы выполняем» [8, с.46].

К. Уэст и Д. Зиммерманн рассматривают пол как «биологическую категоризацию, основанную прежде всего на репродуктивном потенциале, тогда как гендер — это социальная разработка биологического пола» [15, с.127].

Ключевые различия между этими двумя терминами («пол» и «гендер») приведены в таблице 1 и заключаются в следующем.

Таким образом резюмируя приведенные нами определения понятия «гендер» можно сделать следующее заключение, что смысл понятия гендера заключается в идее социального моделирования или конструирования на основе социальной практики, поскольку гендер является продуктом социального воспитания, в то время как пол дан человеку при рождении.

**Таблица 1**

| «Пол» | «Гендер» |
|---|---|
| Природный конструкт | Социальный конструкт |
| Дан человеку при рождении и обладает рядом дифференцирующих биологических признаков. | Социокультурный конструкт, определяющий маскулинные и феминные качества, модели поведения, стереотипы и роли |
| Универсальный термин | Может изменяться под влиянием временных, географических и социокультурных условий. |

Так как гендер представляет собой продукт социального воспитания, то нельзя не упомянуть о тесной связи гендера с гендерными стереотипами и гендерными ролями.

А. Вулфолк в своей книге «Образовательная психология (Educational Psychology)» впервые ввела термин «гендерно-ролевая идентичность», в котором, по мнению автора, заключено представление человека о мужском и женском. Как утверждает автор, гендерно-ролевая идентичность может развиваться в двух направлениях: биологическом и социальном. С точки зрения биологии А. Вулфолк описывает влияние гормонов на поведение человека. Так, пишет автор, «мальчики предпочитают активные, грубые и шумные игры, а девочки предпочитают игры, требующие меньшей активности» [16, с.314]. Под социальным фактором необходимо рассматривать «социальные и когнитивные процессы, влияющие на гендерно-ролевую идентичность» [16, с. 316]. Автор выделяет так называемые «гендерные схемы» (гендерные стереотипы) о том, что значит быть мужчиной или женщиной. Таким образом, гендер необходимо рассматривать как переплетение отношений и процессов как социального, так и психологического характера. Гендерный подход к любому исследованию учитывает многовариантное влияние фактора пола.

Таким образом гендерные исследования изучают предпосылки возникновения норм и моделей поведения, связанные с мужественностью и женственностью и их особенности; причины появления маскуклинных и феминных стереотипов и природу их изменчивости, и влияние, которое они оказывают на мужчин и женщин [2, с. 100]. Необходимо также помнить, что фокус гендерных исследований приходится на современное общество, поскольку мужчины и женщины не существуют изолированно от своих других социальных ролей и позиций [5, с. 16]. В современном мире женщина – это не только женщина – в нашем обществе она также имеет определенное классовое и кастовое положение, религиозную идентичность, сексуальную идентичность и многое другое. Все эти факторы влияют на ее жизнь, поэтому при изучении особенностей речевого и социального поведения женщины или мужчины необходимо учитывать все эти факторы.

Междисциплинарный характер гендерные исследования начали приобретать в контексте женского движения в 1960-х годах в тандеме с феминистской наукой, которая, как объясняют Мэриан Лоу и Маргарет Лоу Бенстон, «функционировала для развития ориентированного на женщин понимания мира, поиска объяснений женского угнетения и определения стратегий перемен» [7, с. 8]. «Women's studies», позднее именуемые гендерными, стали одной из стратегий перемен, прежде всего, как способа распространения информации и «обучения переменам», основанного на реальном опыте и языке женщин» [8, с.10].

В фокусе проблем «Women's studies» и гендерных исследований находились культурное, расовое и экономическое разнообразие женского опыта, а также исследования, посвященные факторам, влияющим на жизнь женщин и мужчин, опираясь, тем самым на методы и содержание широкого спектра дисциплин, включая антропологию, литературу и искусство, биологию, экономику, историю, политологию, психологию, религию и социологию. Все услия были направлены на расширение интеллектуального развития женщин, помогая им понять их возможности, а также выйти за пределы традиционных гендерно-дифференцированных ролей.

Гендерные исследования уделяют особое внимание отношениям между человеком (женщин) и обществом как в историческом, так и в межкультурном контексте, а также изменениям, происходящим в настоящее время в социальных ролях женщин и мужчин, участии женщин в основных институтах общества, что дает право рассматривать гендер не как отдельную категорию, а скорее, как категорию, которая формируется через ее пересечение с другими отраслями наук, что в дальнейшем привело к возникновению отдельного направления гендерных исследований – "men's studies" [6, с.96].

Мужские исследования – представляют собой одно из направлений гендерных исследований, посвященное вопросам в отношении мужчин, их месту в современном обществе, проблемам маскулинизации и особенностям мужского речевого поведения. Следует отметить, что основой возникновения данного течения послужили феминистские теории.

На сегодняшний день гендерный аспект широко применяется в различных отраслях языкознания и позволяет получать новые данные в различных языках, а также давать альтернативную интерпретацию уже достаточно изученным языковым явлениям.

Исследования посвященные взаимосвязи между языком и гендером основываются на гипотезе, что гендер влияет на языковое поведение личности, например, использование тех или иных языковых средств может зависеть от ряда факторов: социальный статус, сфера профессиональной деятельности, культура и идентичность. Следует отметить, что до 1944 года не было опубликовано ни одного конкретного исследования о гендерных различиях в языке. Как заявил К. Грей, именно в 1970-е годы стало заметно сравнение между женской кооперативностью и мужской конкурентоспособностью в языковом поведении. Позднее ученые сосредоточились на термине «гендер как культура» и

провели ряд эмпирических исследований языковых различий между мужчинами и женщинами; анализировали существующую литературу о различиях между мужчинами и женщинами в использовании средств массовой информации для межличностного общения и т. д. [11].

Д. Холмс в своих исследованиях отмечает, что языковые формы, используемые мужчинами и женщинами, в той или иной степени контрастируют во всех речевых сообществах. Так, например, описывая языки индейцев Амазонки, автор описывает дифференциацию использования языковых средств не только между племенами, но и между мужчинами и женщинами, говорящими на разных языках внутри одного сообщества (племени).

Также автор в своих исследованиях обратил внимание на тот факт, что лингвистические гендерные различия могут проявляться в разности произношения или морфологии словарного запаса. В качестве яркого примера Д. Холмс приводит японский язык, в котором разные слова с одним и тем же значением используются по-разному мужчинами и женщинами [12, с.14].

Д. Таннен также разделяет точку зрения Д. Холмс о дифференциации языковых средств мужчин и женщин внутри одного языкового сообщества и утверждает, что «такое общение напоминает межкультурное общение, в котором стиль общения разный» [15, с. 112].

Также среди ученых-исследователей, которые придерживались теории существования женского языка, необходимо выделить Р. Лакофф, поскольку ее книга «Язык и место женщины» послужила основой для многих исследований по этому вопросу. В своей книге автор выделяет десять основных особенностей женского языка:

1. Лексические филлеры или фразы-заполнители: you know, sort of, …
2. Разделительные вопросы: she is very nice, isn’t she?
3. Восходящая интонация в утвердительных предложениях: it’s really good.
4. Использование, так называемых, пустых прилагательных: divine, charming, cute.
5. Использование точной цветовой схемы: magenta, aquamarine.
6. Использование усилителей: just and so.
7. Использование сверх правильной грамматики.
8. Использование сверх вежливых форм: косвенные вопросы, эвфемизмы.
9. Отсутствие стилистически сниженной лексики: fudge, my goodness.
10. Использование эмфатического ударения: it was a *brilliant* performance [14, с. 212].

Следует отметить, что гипотезы, высказанные Р. Лакофф, имеют как преимущества, так и недостатки. По мнению автора «язык мужчин – напористый, взрослый и прямой, тогда как язык женщин – незрелый, гиперформальный или гипервежливый и ненапористый» [13, с.180].

Становление гендерных исследований в отечественной лингвистике приходится на начало девяностых годов двадцатого века. Именно в этот период в

нашей стране появляются первые теоретические труды по гендерной проблематике, феминистская литература, формируется научное сообщество.

Следует отметить, что гендерные исследования в России существовали еще до их активной популяризации среди ученых-исследователей и широкого круга лиц, заинтересованных данной проблематикой. Например, в девятнадцатом веке особенностями семантической уместности занимался русский лингвист Г. Павский; Н. А. Бердяев в статье «Гендер. Мужское и женское» выдвинул тезис о том, что мужское начало имеет статус личностного начала, а женское - коллективного. Таким образом можно сделать вывод, что до 1990-х годов двадцатого века исследования, связанные с гендерной проблематикой не носили системный характер и не претендовали на статус научного направления [6, с.55].

Отличительной чертой российской лингвистической гендерологии принято считать ее прикладной характер. Психолингвистические и социолингвистические исследования направлены на установление и дифференциацию маркеров мужской и женской речи.

Отечественные ученые выделяют три основных направления современного понимания гендера: гендер как инструмент социального анализа; понимание гендера в женских исследованиях и гендера как культурной интерпретации. На основе подобных трактовок понятия «гендер» возник ряд основных теоретических положений — теория социального конструирования гендера и интеракционизма и теория гендерной системы.

Гендер как культурно обусловленный и социально воспроизводимый феномен представляет собой один из параметров человеческой личности, отражающихся в языке и служащих средством конструирования идентичности. С точки зрения данного подхода весьма перспективными являются исследования коммуникативно-дискурсивного направления, в том числе изучение лингвистического конструирования гендера в коммуникативном взаимодействии индивидов в различных видах дискурса, речевого поведения мужчин и женщин с позиций теорий социальной идентичности, коммуникативной адаптации и интеракционизма.

Отечественные лингвистические гендерные исследования имеют ряд своих особенностей:

1) Недостаточно развиты методология и терминология;

2) Из-за отсутствия достаточного количества отечественных работ приходится опираться на работы зарубежных ученых.

3) Большинство исследований имеют четкую практическую направленность;

4) Многие лингвистические работы, не связанные непосредственно с проблемами гендерологии, включают в рамки своих наблюдений гендерную дифференциацию в языке как один из аспектов изучаемой проблемы.

Это, в свою очередь, положило начало в лингвистике тенденции рассматривать «мужской» язык как соответствующий норме, а «женский» язык как некоторое отклонение от нормы [2, с. 100].

Обобщая наблюдения отечественных и зарубежных ученых, можно описать наиболее типичные особенности речевого поведения языковой личности женщины:

1. Особенности произношения.

Д. Шуй в своих исследованиях отмечает, что фонологические различия между мужской и женской речью встречаются во многих языках. Согласно проведенным автором исследованиям, женское произношение лучше мужского. Им было установлено, что 62,2% мужчин произносили окончание «-ing» неправильно, среди женщин процент неправильного произношения составил 28,9%, что значительно ниже, чем у мужчин [18, с.205].

2. Особенности интонации.

Согласно исследованиям Р. Лакофф, женщины в утвердительных предложениях предпочитают использовать восходящие тоны, демонстрируя, тем самым, свою неуверенность или робость [13, с.183].

3. Особенности вокабуляра.

Подавляющее большинство исследований, посвященных лингвистической дифференциации мужского и женского поведения сосредоточено на особенностях вокабуляра, поскольку мужчины и женщины имеют тенденцию по-разному выражать свои эмоции. Среди маркеров женской речи были выделены следующие отличительные черты:

- четкая цветовая схема;
- активное использование в повседневном общении оценочных прилагательных и наречий;
- отсутствие ненормативной лексики;
- наличие уменьшительно-ласкательных суффиксов или обращений;
- тенденция к использованию местоимений множественного числа.

4. Особенности синтаксиса.

Хотя не существует конкретных правил, регулирующих использование разной грамматики мужчинами и женщинами, некоторые характерные особенности все же были выявлены:

- модуляция;

Учеными в области лингвистических гендерных исследований было установлено, что женщины чаще мужчин демонстрируют модальность в своих высказываниях. Речевое поведение женщин отличается необходимостью оставить право за собеседником принять решение, нежели навязать свои идеи или мнение. Модуляция может быть представлена такими фразами, как «предположим, я думаю, что…; возможно, я не права, но…; мне казалось, что…».

- вопросительные предложения;

Вопросительные предложения также являются маркером женского речевого поведения, поскольку женщины применяют вопросы в качестве инструмента для поддержания интересной беседы, либо для выражения своих идей. Р. Лакофф в своей книге «Язык и место женщины» также обратила внимание на частое использование женщинами разделительных вопросов.

- повелительные предложения;

Как показывают исследования прошлых мужчины и женщины по-разному используют в своей речи повелительное наклонение. Повелительное наклонение в речевом поведении мужчин выражается согласно принятым нормам, например, «Идем!», тогда как женщины чаще используют паттерн «давай сходим…». Также было замечено, что для женщин характерно использование различных оттенков модальности в речи.

- правильность грамматики.

Считается, что женщины, в отличие от мужчин, говорят грамматически верно.

5. Особенности отношения к речи и языку в целом.

Исследования показали, что женщины в целом относятся к своей речи и языку более щепетильно; предпочитают использовать литературный или нормативный язык в отличие от мужчин.

6. Особенности невербального характера.

Особенностям невербального характера также было уделено достаточное количество внимания среди ученых. Так, например, К. Уэст и Д. Зиммерманн установили, что женщины реже перебивают своих собеседников в разговоре, демонстрируя тем, самым социальный гендерный стереотип о том, что женщины более терпеливы, чем мужчины или другой стереотип о том, что женщины слушают, а мужчины соревнуются за право доминирования над собеседником [15, с.134].

7. Особенности выбора темы для дискуссии.

Данному аспекту также было посвящено немало исследований. Большинство ученых сходится во мнении, что мужчины и женщины выбирают темы для дискуссий согласно их гендерным ролям в обществе, например, для женщин характерны такие темы, как семейные проблемы, воспитание детей, кулинария, одежда и тд. Мужчины чаще обсуждают политику, спорт, бизнес, машины и тд. [6, с. 112].

Несмотря на то, что существует известное предубеждение о том, что женщины говорят больше, чем мужчины, эмпирические исследования ряда социальных ситуаций, таких как заседания комитетов и дискуссионные группы в Интернете показали обратное. В отличие от неформальных ситуаций, на официальных мероприятиях женщины играют второстепенную роль и склонны говорить меньше, чем мужчины. Еще в 1980 году Д. Спендер установила эту закономерность [17, с. 96].

На сегодняшний день специалистов в области гендерных исследований интересует не столько проблема выявления дифференцирующих маркеров мужского и женского речевого поведения, сколько их причины. Исследования в области анатомических и физиологических различий между мужчинами и женщинами показали, что за фонологию у женщин отвечает, как левое, так и правое полушарие, а у мужчин только левое. Тем не менее данная особенность никакой существенной роли в дифференциации мужской и женской речи не иг-

рает. Ученые пришли к выводу, что произношение и фонология носят скорее социальный характер, чем физический.

Согласно взглядам С. де Бовуар «в женщину, ее превращает общество, в котором она растет» [1, с.15]. Таким образом конструируя гендер и рассматривая причины возникновения гендерных стереотипов ученые приходят к выводу, что ключевая роль здесь отводится трем основным особенностям:

- психология;

Принято считать, что женщины более осторожны, чувствительны и внимательны, чем мужчины. Прежде чем заговорить, женщина обычно думает, какой эффект произведут ее слова, поэтому часто кажется более вежливой.

- разный социальный статус;

Из социальных причин гендерных различий в стиле речи одной из наиболее важных является уровень образования. Во всех исследованиях показано, что чем больше различия в образовательных возможностях мальчиков и девочек, тем больше различия между мужской и женской речью. Женщины очень хорошо осознают свой статус и стремятся к лучшему положению в обществе, поэтому стараются совершенствоваться, в том числе используя стандартный язык.

-разное культурное происхождение.

Именно образ жизни и образ мышления определяют правила языка, поэтому язык также является своего рода культурным феноменом. Р. Лакофф считает, что «различие между мужским и женским языком является симптомом проблемы в нашей культуре, а не самой проблемой» [13, с. 210].

Гендер как аналитическая категория продолжает вдохновлять исследователей во многих областях. В этом исследовании был проведен обзор работ наиболее выдающихся ученых в области гендерных исследований, чьи взгляды послужили основой для современных исследований.

Также нами были рассмотрены основные различия в речевом поведении мужчин и женщин. Нельзя не отметить, что современные языковые тенденции демонстрирует стремление к языковой нейтральности, но те маркеры, которые были обозначены нами и возможные причины их возникновения все еще присутствуют в языке. Язык как инструмент человеческой деятельности совершенствуется с каждым днем и соответствует запросам современного общества. Вполне вероятно, что некоторые гендерные маркеры языкового поведения мужчин и женщин со временем исчезнут и это исчезновение вновь вдохновит специалистов в области гендерных исследований на поиск ответов на интересующие их вопросы.

**Список источников**

1. Бовуар де С. Второй пол / в пер. Сабашниковой Анны, Малаховой Инны, Орловой Елены. – Изд-во «Азбука», 2021. - 403 с.

2. Горошко Е. Пол, гендер, язык // Женщина. Гендер. Культура. - М.: МЦГИ, 1999. - С. 98-110.

3. Грушина М.В. Гендерный аспект языковых дифференциаций в рамках социолингвистики // В сборнике: Лингвистика и лингводидактика. - Сборник научных тезисов и статей по материалам всероссийской научно-практической очно-заочной конференции. Орехово-Зуево, 2021. С. 46-47.

4. Кирилина А.В. Освещение связи языка и пола в истории лингвистики // Теория и методология гендерных исследований. Курс лекций / Воронина О.А. - М.: МЦГИ - МВШСЭН - МФФ, 2001. - С. 366-381.

5. Логинова Е.А. История развития гендерных исследований в зарубежной и отечественной лингвистике // IN SITU: Языкознание и литературоведение. 2021. №1. С.15-19

6. Пронякина М.В. Гендерные особенности англоязычного текста журнального интервью / диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский педагогический государственный университет". 2017. - 168 с.

7. Benston M. Lecture Series in Social Justice / Margaret Lowe Benston(MLB) Lecture Series in Social Justice (1995-2008)- 13 p.

8. Butler J. Gender trouble [Text]: feminism and subversion of identity / Judith Butler; with an introduction by the author. - London [etc.]: Routledge, 2007. – 236 p.

9. Giddens A. The transformation of intimacy: Sexuality, love and eroticism in modern societies. - Stanford: Stanford univ. press, 1992. – 222 p.

10. Gray J. Beyond Mars and Venus: Relationship Skills for Today's Complex World / пер. Бродцкая А. – Москва: Изд-во АСТ, 2017. – 350 p.

11. Grey C. (1998). Towards an overview on gender and language variation / 1998, [Electronic resourse]: URL https://linguisticus.wordpress.com/work-on-gender-and-language-variation/

12. Holmes J. Functions of 'you know' in women's and men's speech // Language in society, V.15., №1,1986. - 1-22 p.

13. Lakoff R. Language and women's place / New York, NY: Harper and Row, 1975. – 309 p.

14. Tannen D. You just don't understand: Women and men in conversation / New York, NY: William Morrow, 1990. – 342 p.

15. West C., Zimmerman D. Doing gender // Gender and Society, 1987. - Vol. 1 (№2). – P. 125-151.

16. Woolfolk A. Educational psychology / Woolfolk Anita. - Boston: Allyn and Bacon, 1993. – 647 p.

17. Spender, Dale. Man Made Language / New York & London: Routledge & Kegan Paul., 1980. – 250 p.

18. Shuy, D. A Cultural Approach to Male-Female Miscommunication // Language and Social Identity. - London: Routledge, 1983. - P. 196 - 216

УДК 81’

# ГЛАВА 11. ЗНАЧЕНИЕ И КОНЦЕПТ КАК ТЕРМИНЫ КОГНИТИВНОЙ ЛИНГВИСТИКИ, ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИИ И ПСИХОЛИНГВИСТИКИ

**Гусева Анна Дмитриевна**
к.филол.н., доцент кафедры английского языка
ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»

**Аннотация.** В данном исследовании описана эволюция теорий значения в XIX-XXI веках, представлено понимание различными учеными структуры и содержания концепта в рамках лингвокогнитивного, лингвокультурологического и психолингвистического подходов и взгляды на соотношение концепта и значения данных ученых. На основе изучения трудов таких исследователей, как Е.С. Кубрякова, В.А. Маслова, В.И. Карасик, И.А. Стернин, А.А. Залевская и др., выделено наше понимание концепта и значения и их связи. Можно сделать вывод, что представленные подходы определяют ракурс рассмотрения, методологический аппарат проведения исследований, критерии выделения концептов и соотношение их со значением.
**Ключевые слова:** значение, когнитивная лингвистика, концепт, лингвокультурология, психолингвистика

**MEANING AND CONCEPT AS TERMS OF COGNITIVE LINGUISTICS, LINGUOCULTUROLOGY AND PSYCHOLINGUISTICS**

**Guseva Anna Dmitrievna**

**Abstract:** This study describes the evolution of theories of meaning in the XIX-XXI centuries, presents the understanding of the structure and content of the concept by various scientists within the framework of linguocognitive, linguoculturological and psycholinguistic approaches and views on the correspondence between the concept and the meaning of these scientists. Based on the study of the works of such researchers, as E.S. Kubryakova, V.A. Maslova, V.I. Karasik, I.A. Sternin, A.A. Zalevskaya and others, our understanding of the concept and meaning is highlighted. It can be concluded that the presented approaches determine the perspective of consideration, the methodological apparatus of conducting research, the criteria for identifying concepts and their correlation with meaning.
**Key words:** meaning, cognitive linguistics, concept, linguoculturology, psycholinguistics.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исследователи пытаются найти ответы на вопросы о механизмах функционирования ментальных структур в речи, критериях соот-

ношения вербального и мыслительного, методах анализа языкового материала и способах представления ментальных структур, специфике национальных картин мира и формирования образа мира конкретного человека или социальной группы. Для решения данных ключевых проблем современной лингвистической науки необходимо четко определить содержание терминов «концепт» и «значение» и разграничить их употребление.

«Значение» и «концепт» являются базовыми терминами современной лингвистики и выступают в качестве предмета изучения разных языковедческих дисциплин: психолингвистики, когнитивной лингвистики, лингвокультурологии. Каждая из данных наук выработала свой подход к пониманию и интерпретации данных терминов в зависимости от целей исследования и предложила исследовательский аппарат. Сравнительно-сопоставительный анализ подходов, разработанных в рамках данных дисциплин, позволяет рассмотреть под новым углом проблемы современной лингвистики, связанные с отражением сознания и культуры в языке. В результате изучения теоретических работ авторитетных ученых, в которых раскрывается природа концепта, его структура, критерии выделения, методология исследования, соотношение его со значением, представляется возможным четко разграничить денотативную отнесенность терминов «значение» и «концепт» и установить их взаимосвязь в рамках каждого подхода, определить роль каждого образования в процессах формирования индивидуального и общественного знания, концептуализации и освоении действительности, процессах речепорождения, смоделировать процесс перехода от вербального к ментальному уровню и обратно.

**Целью** данной исследовательской работы является сравнительно-сопоставительный анализ различных подходов к определению концепта и соотношению его с термином «значение».

**Актуальность** данного исследования обусловлена вниманием исследователей к отражению ментальных и культурных процессов в языке и подтверждается наличием большого количества публикаций за последние пять лет: разрабатывается теория концептов (выделяются и описывают разные типы концептов, их структура, предлагаются методы анализа и др.); изучаются индивидуально-авторские, художественные концепты и другие типы концептов в национальной картине мира, в том числе в сравнительно-сопоставительном аспекте [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] и др.

**Новизна** исследования связана со сравнительно-сопоставительным изучением различных подходов к пониманию терминов «концепт» и «значение» и представлением модели соотношения терминов «значение» и «концепт».

**Теоретическая и практическая значимость** заключается в том, что исследование посвящено ключевой проблеме современных лингвистических исследований: проблеме соотношения значения, слова и концепта. Проведенный анализ трудов позволил выявить разные точки зрения на понимание термина «концепт» и критерии выделения концепта, моделирование его структуры. Результаты данного исследования могут быть применены в лекционных курсах по

теории языка, при написании курсовых и выпускных квалификационных и иных научных работ.

**Процедура и методы.**

В данном исследовании последовательно описана эволюция теорий значения в XIX-XXI веках, представлено понимание различными учеными структуры и содержания концепта в рамках лингвокогнитивного, лингвокультурологического и психолингвистического подходов и взгляды на соотношение концепта и значения данных ученых. На основе изучения трудов таких исследователей, как Е.С. Кубрякова, В.А. Маслова, В.И. Карасик, И.А. Стернин, А.А. Залевская и др., выделено наше понимание концепта и значения и их связи.

## 1. ЭВОЛЮЦИЯ ТЕОРИЙ ЗНАЧЕНИЯ НА ПРОТЯЖЕНИИ XIX-XXI ВЕКОВ

Понимание термина «значение» изменялось на протяжении развития науки о языке и зависело от подхода к изучению языка, а также целей и предмета изучения конкретной лингвистической дисциплины.

А.А. Залевская указывает на развитие теорий значения слова в течение XIX-XXI веков и широкую представленность исследований по данной тематике в рамках отечественной и зарубежной науки. Традиционным является представление схемы в виде треугольника (денотат-слово-значение) Огдена-Ричардса, согласно теории которого значение приравнивалось к понятию. Далее была теория трапеции, которая развела «понятие» и «значение» по разным углам фигуры. В результате переосмысления данных теорий ученые пришли к выводу, что значение слова формируется не только и не столько на основе логико-рационального анализа, но переживается в результате непосредственного взаимодействия с денотатом в конкретных ситуациях, представляет не просто фиксированный набор «наиболее важных, существенных» признаков, но выступает в качестве живой, развивающейся сущности. В XX веке в рамках антропоцентрической парадигмы внимание уделялось влиянию социокультурного окружения на образ мира человека, было указано на необходимость учета совокупности внешних и внутренних факторов при анализе значения, подчеркивалась роль неосознаваемых процессов. В значение слова были включены эмоционально-волевые, чувственно-модальные и ценностно-смысловые компоненты, появилась необходимость выделения и описания различных ментальных сущностей, например концептов. В отечественной лингвистике впервые привлекли внимание к проблеме жизни слова еще в XIX веке А.А. Потебня и И.А. Боддуэн де Куртенэ. До сих пор не теряют актуальности исследования Л.С. Выготского, Л.В. Щебры, А.Н. Леонтьева, А.Р. Лурии и других ученых [10].

## 2. ЛИНГВОКОГНИТИВНЫЙ, ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ И ПСИХОЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ К ПОНИМАНИЮ ТЕРМИНА «КОНЦЕПТ»

Термин «концепт» является сравнительно молодым термином. Впервые

как объект изучения он упоминался в отечественном языкознании С.А. Аскольдовым в 1928 году.

В настоящее время, несмотря на разнообразие мнений по поводу критериев выделения концепта и описания его структуры, можно выделить три подхода к его восприятию: лингвокогнитивный, лингвокультурологический и психолингвистический.

Концепт в понимании Е.С. Кубряковой, представляющей когнитивный подход, является единицей мышления, «квантом знания», результатом переработки опыта познания мира, тесно связанным со смыслоообразованием. К наиболее важным концептам исследователь относит концепты, которые позволяют организовать и структурировать концептуальное пространство. Такими концептами могут быть грамматические концепты категорий, по которым затем распределяется весь лексический материал [11].

Лингвокогнитивный подход к концепту разделяет Н.Ф. Алефиренко. В рамках когнитивной семантики он рассматривает механизмы соотнесения когнитивного уровня и семантического. Концепт в его понимании – многомерное этнопсихическое образование [12, с. 63]. Структура концепта рассматривается в системе вертикальных и горизонтальных координат. Концепт, как и понятие, будучи основной единицей сознания, служит центром смыслового и концептуального пространства [12, с.91]. Он выстраивает «систему смысловых координат сознания в его парадигматических, синтагматических и этнокультурных связях» [12, с. 91].

Согласно точке зрения Н.Н. Болдырева концепт представляет собой квант структурированного знания. Концепты имеют первоначально форму гештальта, т.е. не могут рассматриваться вне их системных связей с другими ментальными структурами. Под концептами подразумеваются мыслительные сущности разного характера «это может быть и отдельный смысл, и целая концептуальная структура, включающая другие концепты и задающая другие ступени абстракции» [13, С. 51-52.]. По структуре выделяются конкретно-чувственный образ, представление, схема, понятие, прототип, пропозиционная структура, фрейм, сценарий (скрипт), гештальт, категория, когнитивная матрица.

Лингвокультурный подход обуславливает ограничение числа концептов наличием их лингвокультурной специфики. Так, В.А. Маслова пишет, что «концептом становятся только те явления действительности, которые актуальны и ценны для данной культуры, имеют большое количество языковых фиксаций, являются темой пословиц и поговорок, поэтических и прозаических текстов» [15, С. 28], т.е. отражают культурную память народа. Концепт, по мнению исследователя, является относительно «стабильным и устойчивым когнитивным слепком с объекта действительности [14, С. 30].

Как пишет С.Г. Воркачев, переход от структурно-системного анализа языка к антропоцентрической парадигме привел к необходимости учета человеческого фактора в языке и введения единицы, которая учитывала бы не только понятийную составляющую языкового знака, но и психологическую (образную

и ценностную), а также соответствующую лингвистическую информацию. Ученый определяет концепт как «вербализованный смысл», «единицу коллективного знания/сознания» и отмечает наличие лингвокультурной отмеченности как отличительной характеристики концепта и соотнесение его с прототипом носителя языка (языковой личностью): «концепт определяется как основная единица национального менталитета как специфического индивидуального и группового способа мировосприятия и миропонимания, задаваемого совокупностью когнитивных и поведенческих стереотипов и установок, главной характеристикой которого является особенность мышления и поведенческих реакций индивида или социальной группы» [15]. Данный подход исключает из числа концептов «идеальные образования, не обладающие какой-либо групповой или этнической спецификой» [15]. С.Г. Воркачев отмечает, что «ключевым в современном культурологическом и лингвокультурологическом подходе к концепту, является, прежде всего, понятие духовной ценности» [15], «переживаемость» концептов, однако, он указывает, что не всегда концепты могут иметь ценностный компонент (отсутствие «аксиологических и эмоциональных рефлексов»). Еще одним важным показателем выделения культурного концепта, согласно мнению ученого, является иерархическая структура связей, «сложность, внутренняя расчлененность их семантического состава», вследствие чего, из числа концептов исключаются «мыслительные образы конкретных реалий» и «примитивные смыслы» [15]. С.Г. Воркачев указывает на тесную связь концепта с образностью (зрительные, обонятельные, тактильные, слуховые концепты-представления) и его индивидуализированность (субъективность).

В.И. Карасик также рассматривает концепт с точки зрения лингвокультурологического подхода: «культурный концепт – многомерное смысловое образование, в котором выделяются ценностная, образная и понятийная стороны», ученый акцентирует внимание на термине «ценность» («ценностная сторона концепта является определяющей для его выделения» [16, с. 107]), поскольку «ценности, высшие ориентиры, определяющие поведение людей, составляют наиболее важную часть языковой картины мира» [16, с. 98]. Культурной значимостью, по мнению ученого, могут обладать «уникальные объекты, обозначенные именами собственными», «концепты вымышленных героев или событий, которые стали фактами культуры в художественной литературе, живописи, кинематографе и т.д., о концептах абстрактных имен, о предметных концептах» [16, с. 102]. В.И. Карасик подчеркивает наличие индивидуальных, социальных и этнокультурных характеристик в концепте. Он выделяет наиболее значимые концепты культуры – культурные доминанты [16, с. 118].

И.А. Стернин и Попова З.Д., делающие акцент на пути анализа от изучения семантики языковых знаков к конструированию когнитивного целого), не считают, что концепты обязательно должны иметь этнокультурную маркировку или ярко выраженный оценочный компонент. С их точки зрения концепт выступает прежде всего как единица мышления и хранения информации [17, с. 25]. Описывая структуру концепта, исследователи представляют ее как знания,

упорядоченные в виде поля [17, с. 70].

Концепт в психолингвистике рассматривается как разновидность значения и является динамическим образованием, результатом «спонтанной переработки индивидом опыта познания и общения» [18, с. 10]. Однако при логико-рациональном описании мы получаем некий конструкт исследователей на основе изучения языковых знаков, принимаемый за адекватно отражающий содержание концепта.

## 3. СООТНОШЕНИЕ ТЕРМИНОВ «ЗНАЧЕНИЕ» И «КОНЦЕПТ»

Рассмотрим понимание различными учеными соотношения значения и концепта в рамках представленных подходов.

Как утверждает Е.С. Кубрякова, значением становится концепт «схваченный знаком», в то время как сам концепт, идея, независим от языка, только часть концепта объективируется в языке. Также она отмечает, что вербализация одних и тех же концептов в разных языках может различаться в зависимости как от лингвистических, так и прагматических и культурологических факторов [11, С. 90-93].

В.А. Маслова разделяет данную точку зрения, отмечая, что концепты – «посредники между словами и экстралингвистической действительностью и значение слова не может быть сведено исключительно к образующим его концептам» [14, С. 26]. С точки зрения В.А. Масловой концепт соотносится со смыслом, а понятие со значением: «Значение слова - это тот предмет или те предметы, к которым это слово правильно, в соответствии с нормами данного языка применимо, а концепт – это смысл слова» [14, С 29.].

Важнейшим вопросом для Н.Ф. Алефиренко, развивающего когнитивное направление семантики, является вопрос соотношения концепта и значения, механизмов их соположения и перехода от когнитивного к языковому сознанию. Н.Ф. Алефиренко пишет, что концепт переставляет «мысленное содержание», «когнитивный аналог» значения. Значение определяется как «вторично трансформированное содержание соответствующего концепта» [12, с. 62]. Он выделяет познавательные концепты, выражающие «понятийную сущность однопорядковых объектов». Данным концептам соответствует значение знаков первичной номинации. Художественные концепты замещаются значением вторичной номинации, в основе которой лежит представление. Совокупность значений синонимичных языковых единиц вторичной номинации образуют один концепт [12, с. 58]. Таким образом, концепт соотносится с термином «понятие», которое лежит в основе познавательного концепта, и термином «представление», которое лежит в основе художественного концепта. Исследователь отмечает диалектическую связь значения и концепта: значение является только одним из аспектов концепта, в то же время значение не сводимо к нему. В структуру значения включаются оценочный, эмотивный и экспрессивно-образный компоненты. Согласно мнению исследователя, при формировании значения реализуются не все, но определенные признаки и образные потенции концепта.

При декодировании информации «снимаются различия в понимании значения и концепта». Структура концепта включает ядерную часть (содержание понятия) и периферию («ассоциативно-образный макрокомпонент значения» – различные коннотации значения) [12, с. 63-64]. Понимание значения исследователем приближается к психолингвистическому, поскольку значение рассматривается в функциональном аспекте: выделяется системное значение (обобщенная совокупность всех употреблений слова) и значение актуальное (гибкое, подвижное, конкретное). Значение актуальное реализует всегда только часть элементов значения системного, может привносить дополнительные смыслы (ситуативные и ассоциативные), зависит от коммуникативной ситуации и отношений участников общения. Таким образом, происходит трансформация системного значения и его обогащение новыми нюансами [12, с. 67-68].

С.Г. Воркачев также пишет о соотношении концепта со смыслом и значением: «Концепт как семантическая сущность отправляет к плану содержания определенной знаковой единицы и, тем самым, соотносим с категориями значения и смысла» [15]. Характеристиками значения являются фиксированность в словарях, социальная детерминированность, внеконтекстность, принадлежность к языку, в то время как смысл, наоборот, создается «всем и каждым», «обусловлен контекстом, принадлежит речи и первичен по отношению к значению» [15]. Концепт, согласно мнению ученого, является планом содержания языковой единицы и соотносится со значением. С точки зрения С.Г. Воркачева, концепт является единицей высокой степени обобщенности и прототипичности, «семантически представляет собой некую абстракцию, обобщающую значения ряда своих языковых реализаций», а конкретная его форма будет определяться границами его лексико-семантической парадигмы [15].

Если С.Г. Воркачев воспринимает концепт как «семантическую сущность», то Н.Н. Болдырев считает необходимым разграничить уровень анализа когнитивный и языковой (семантический). В его понимании значение слова – «это лишь попытка дать общее представление о содержании выражаемого концепта, очертить известные границы представления его отдельных характеристик данным словом, это его определенная языковая конфигурация или формат» [13, С. 86]. Поэтому значение может передавать только часть знания, связанного с концептом, например, о его языковых репрезентациях. Концепты – явления невербальные, они могут существовать в виде образов, схем, сценариев, картинок, значений слов-репрезентантов. В слове отражаются характеристики концепта, значимые для коммуникации. Для выражения одного и того же концепта могут использоваться различные номинативные единицы, а целостное представление о концепте можно получить через изучение значений совокупности языковых единиц, его выражающих. В связи с этим, на когнитивном и семантическом уровне методы анализа также должны различаться: языковые значения отражают коллективное знание, известное всем представителям общности, когнитивный анализ включает элементы индивидуального знания [13, С. 51].

И.А. Стернин и З.Д. Попова, так же, как и Н.Н. Болдырев, указывают, что значение и концепт по своей природе сходны, однако значение принадлежит семантическому полю, а концепт - национальной концептосфере. Ученые отмечают, что значение всегда закреплено за языковым знаком, является частью концепта. Семы и семемы, составляющие значение лексемы, помогают моделировать содержание концепта, однако концепт превосходит по объему значения лексем, номинирующих концепт, поскольку включает не только вербализованное содержание, но и энциклопедические знания, признаки, которые могут не проявляться сразу же, но являются достоянием личного и коллективного опыта [17, с. 69-70].

И.А. Стернин и Попова З.Д. выделяют лексикографическое значение, закрепленное в словарях, создаваемое по принципу редукции до основных отличительных признаков, и психологически реальное значение (психолингвистическое), представляющее собой «тот объем семантических компонентов, которые актуализирует изолированно взятое слово у носителей языка» [17, с. 68]. Согласно мнению исследователя, психолингвистическое значение шире и глубже словарного, модель психолингвистического значения является результатом проведения направленного эксперимента и показывает степень вероятности проявления того или иного признака или степень его важности для «типичного» носителя языка [18, с. 68-70].

Как считают И.А. Стернин и З.Д. Попова, любое значение, поскольку оно тесно связано с языковым знаком и отражает коммуникативно-релевантные признаки концепта, является общеизвестным для каждого носителя языка и обеспечивает взаимопонимание: «значение включает сравнительно небольшое количество признаков (сем), которые являются общеизвестными для данного социума» [17, с. 73].

Для психолингвистики «значение» является основополагающим термином. В психолингвистике значение рассматривается с точки зрения его функционирования в коммуникации и описания механизмов порождения речи.

Как указывает А.А. Залевская, недопустимо приравнивать значение к понятию и моделировать его только с помощь логического анализа, поскольку значение включает результаты перцептивного, когнитивного и эмоционального опыта. Реальное значение слова живое, конкретное, подвижное, ситуативно обусловленное: «При этом активизируемые зоны необъятной многомерной сети мультимодальных связей могут значительно различаться даже для одного и того же индивида в зависимости от характера ряда внешних и внутренних факторов» [19, с. 32]. Она подчеркивает принадлежность значения индивидуальному сознанию и использует метафору голограммы, когда слово представляет собой лазерный луч, выделяющий «в индивидуальном образе мира некий объект», поворачивающий его разными сторонами.

Залевская А.А. пишет о развитии значения слова в виде спиралевидной модели, которая разворачивается в прошлое (сопоставление с похожими прецедентными ситуациями) и в будущее (ожидания говорящего в конкретной ситу-

ации). Следовательно, слово всегда воспринимается в определенном внешнем и внутреннем контексте, с учетом моделирования текущей ситуации в целом и ее развития с механизмами постоянной обратной связи и коррекции. Живое значение в естественных условиях не находится в виде перечня дефиниций, носители будут затрудняться дать четкое определение абсолютно для них понятному слову, поскольку задействуется вся совокупность переживаемого знания [19, с. 32].

Основой восприятия действительности является единая информационная база человека (позже в трудах А.А. Залевской «индивидуальное знание»), вне которой значение будет пустым, она представляет результаты переработки опыта и взаимодействия при коммуникации, формируется в индивидуальном сознании по законам психической жизни под влиянием норм и ценностей, принятых в социуме и культуре. Для пояснения механизмов перехода от вербального к ментальному и обратно Залевская А.А. использует метафору живого мультимодального гипертекста, где многомерные связи разрозненных элементов являются аналогией нейросети, а теги выступают в качестве опор, организующих успешную навигацию в системе данных [19], [18].

Проблема изучения значения как достояния индивида заключается в «двойной» жизни значения слова: несмотря на различия в образе мира каждого отдельного носителя, существует общее «социально принятое» значение, которое делает возможным взаимопонимание между всеми представителями общества. Взаимопонимание при общении достигается, согласно мнению исследователя, через функцию интерфейса, когда механизмы идентификации слова на разных уровнях позволяют соотносить микрокосм личности и макрокосм культуры [18, с. 34].

Рассмотрим в сопоставительном аспекте психолингвистический, когнитивный и лингвокультурологический подходы (см. табл. 1).

## 4. МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗНАЧЕНИЯ И КОНЦЕПТА

На основе изучения трудов по когнитивной лингвистике, лингвокультурологии и психолингвистике предложим модель взаимосвязи слова, значения и концепта. Связь слово-концепт не равна связи слово-значение. В когнитивной лингвистике указывается, что значение всегда закреплено за какой-либо конкретной лексической единицей, концепт представляет ментальную структуру, которая гораздо шире значения, не связана со словесным выражением и включает различные невербальные и вербальные элементы. В лингвокультурологии исследователи подчеркивают этносоциальную окрашенность концепта и важность его как хранилища народной памяти и основного элемента национальной концептосферы. Психолингвистика изучает все то, что лежит за словом, происходит описание процесса перехода от мыслительного уровня к словесному (кодирование) и от словесного к невербальному (декодирование). Можно выделить уровень первичной интерпретации значения и глубинного понимания (смысла).

**Таблица 1**

**Сравнительно-сопоставительный анализ психолингвитистического, когнитивного и лингвокультурологического подходов к изучению значения и концепта**

| **Психолингвистический подход** | **Когнитивный и лингвокультурологический подходы** |
|---|---|
| Базовый термин: значение | Базовый термин: концепт |
| Предмет изучения: функциональный аспект значения слова | Предмет изучения: изучение сознания человека и типов ментальных репрезентаций через язык [17, С. 9]. У И.А. Стернина «исследование соотношения семантики языка с концептосферой народа, соотношение семантических процессов с когнитивными» [17, С. 13]. В лингвокультурологическом подходе изучение специфики национальной картины мира. Игнорирование коммуникативной функции использования концепта. |
| Значение как достояние индивида | Концепт - элемент концептосферы |
| Терминологическое поле: единая информационная база, образ мира | Терминологическое поле: концептуальная картина мира, концептосфера |
| Характеристики: живое значение слова конкретно, ситуативно обусловлено | Характеристики: концепт рассматривается как ментальная единица, обладающая определенной структурой иерархически расположенных компонентов и набором признаков |
| Компоненты: значение включает разные чувственные модальности (данные органов чувств), эмоции, вызываемые денотатом, коммуникативный опыт, детерминируется обществом и культурой | Компоненты: имеет образную, ценностную и понятную составляющие |
| Соотношение вербального и ментального: мышление невербально, оно оформляется с помощью языковых знаков на последнем этапе речепорождения | Соотношение вербального и ментального: концепт может быть вербализован и невербализован в зависимости от прагматических потребностей общества. Иметь лексическое выражение может коммуникативно-релевантная часть концепта. |
| Соотношение значения и концепта: концепт - динамическое образование, проявляющееся в речи, часть значения | Соотношение значения и концепта: значение – коммуникативно релевантная, общеизвестная часть концепта. С помощью анализа компонентов значения можно получить доступ к части содержания концепта |
| Типы значения: живое, словарное, социально-принятое | Типы значения: лексикографическое и психолингвистическое |

| **Психолингвистический подход** | **Когнитивный и лингвокультурологический подходы** |
|---|---|
| Словарное значение слова: «стабильное, четко сформулированное, социально принятое в текущий момент времени средство взаимопонимания при общении» | Лексикографическое значение создается в соответствии с принципами редукционизма: «это в любом случае искусственный конструкт лексикографов, некоторый субъективно определенный ими минимум признаков, который предлагается пользователям словаря как словарная дефиниция» [17, С. 67]. |
| Реальное значение не хранится в виде словарных дефиниций в готовой форме, оно переживается, идентифицируется, выстраивается. [19, С. 31-32] | Психолингвистическое значение объемнее и глубже лексикографического. «Это упорядоченное единство всех семантических компонентов, которые реально связаны с данной звуковой оболочкой в сознании носителей языка» [17, С. 68]. |
| Значение встроено в пространство мозга и тела человека. Значение соотносится со всем предыдущим опытом и моделируется с учетом текущей ситуации, задействуются осознанные и неосознанные процессы при переходе от мыслительного к вербальному уровню и обратно. | «Значение есть часть концепта как мыслительной единицы, закрепленная языковым знаком в целях коммуникации» [17, С. 14]. |
| Исследовательские процедуры: реальное значение слова выводится путем анализа внутреннего контекста на основе изучения метаязыковой деятельности при процедуре «психолингвистического портретирования лексики» | Исследовательские процедуры: психолингвистическое значение выводится на основе эксперимента и представляется в виде признаков, ранжируемых по степени яркости, показывает вероятность проявления того или иного признака |
| Цель эксперимента: «понять, что лежит за словом в лексиконе как функциональной динамической системе», моделирование смыслового поля, установление структурных и операциональных параметров значения [18, С. 14] | Цель эксперимента: реконструкция картины мира носителей языка и культуры. «Исследование семантики языковых единиц, вербализующих концепт - путь к описанию вербализуемой части концепта» [17, С. 14]. |

Значение, в нашем понимании, это связь между словом и концептом, луч прожектора, ведущий от языковой единицы к ментальной структуре, высвечивающий определенные признаки концепта в конкретной ситуации. Разные значения могут вести от слов не только к разным участкам одного и того же концепта, но и к разным концептуальным областям.

## 5. ПРИРОДА ЗНАЧЕНИЯ И ЕГО ТИПЫ

Под значением нами понимается весь комплекс ассоциаций и оценок, который стоит за словом. Значения, связанные со словом, у носителя языка в раз-

ные моменты жизни могут существенно различаться в зависимости от опыта взаимодействия с денотатом. Для человека значение всегда живое, а не неподвижное, зафиксированное в словарях. Реальное значение для индивида существует здесь и сейчас – в конкретной ситуации, отражает отдельные, необходимые для осуществления успешной коммуникации признаки. Живое значение является изменчивым, подвижным, выражает опыт носителя, реализуется в речевом отрезке в конкретный момент в определенной ситуации.

Словарное значение включает минимальный набор сем, необходимых для идентификации и дифференциации денотата. Соответственно, словарные определения воспринимаются как основа конструирования понятийного содержания концепта. Психолингвистическое значение показывает вероятность присутствия тех или иных сем от наиболее частотных к наименее частотным реакциям носителя и помогает описывать все компоненты концепта. Социально принятое значение – это общеизвестная часть значения для всех носителей языка, закрепленная за языковым знаком, обеспечивающая успешную коммуникацию и взаимопонимание при общении.

## 6. ПРИРОДА КОНЦЕПТОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Концепт – ментальная единица, во всем многообразии связей и компонентов (признаков) несводимая к сумме всех значений языковых знаков, его номинирующих. Это динамическое многомерное образование, не имеющее жестких границ, обладающее большим количеством различных входов через определенные слова-номинанты, помогающих осуществлять доступ к тем или иным признакам концепта. Концепты соединены друг с другом многочисленными ассоциативными связями, погружены в концептуальное пространство и объединены в концептуальные области на основе переработки получаемого опыта взаимодействия с окружающей действительностью. Концепт имеет чувственно-модальную и логико-рациональную природу. Жизнь концепта связана с процессами переработки опыта человека и с порождением смыслов. Когнитивная интерпретаций значений слов-номинантов позволяет реконструировать значительную часть содержания концепта.

В процессе общения происходит возбуждение определенной части концептуальной области и переход по ассоциативным связям. Многомерность и наличие большого количества связей позволяет концепту входить в несколько концептуальных областей и иметь потенциал образовывать новые связи (временные или стойкие). Ассоциативные связи и общее ментальное пространство позволяют осуществлять переход от одной концептуальной области к другой при осуществлении коммуникации. Содержание концепта сопоставляется с прошлым опытом и проецируется на ситуации и становится основой для приобретения новых связей, а также когнитивных дериваций, преобразований и трансформаций.

Изучение концепта должно учитывать «двойную жизнь значения (концепта)», когда значение слова и его оценки как достояние общества изменяются во времени, формируют пассивные и активные исторические слои, накладывающие отпечаток на восприятие данного слова в каждый отдельный период. В то же время каждый человек осваивает слово, структура соответствующего концепта меняется в течение жизни, становясь все более сложной из-за наслоения нового опыта встречи с соответствующим денотатом, что влияет на перемещение признаков с ядра на периферию и обратно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На основе изучения различных подходов установлено, что поставленные цели (в психолингвистике описать функционирование живого значения слова в речи; в когнитивной лингвистике изучить процессы, происходящие в сознании, через язык; в лингвокультурологии выйти на национальную картину мира с помощью анализа репрезентантов концептов в языке) определяют использование соответствующего терминологического аппарата (в психолингвистике *образ мира, информационная база, ментальный лексикон, значение*; в когнитивных науках и лингвокультурологии *концептосфера, концепт, картина мира и т.д.*) и методологии исследования, направленной на решение поставленных задач.

В результате рассмотрения основных теорий очевидно, что базовые, ключевые термины «значение» и «концепт» трактуются по-разному в рамках психолингвистического подхода, лингвокультурологического и лингвокогнитивного подхода.

В процессе исследования выявлено, что психолингвистика делает акцент на аспекте функционирования терминов «значение» и «концепт» в речи и индивидуальном образе мира человека, лингвокультурология – на социоэтническом аспекте и возможности моделирования национальной картины мира через анализ языковых единиц, когнитивная лингвистика – на общих вопросах отражения ментальных структур в языке. В целом, все исследователи отмечают невербальную природу мышления и, как следствие, принадлежность концептов к когнитивному уровню, связь значения с языковой оболочкой и возможность вербализации только части концепта.

Установлено, что концепт, будучи слоистым и многомерным образованием, отражает социальные, политические, идеологические, экономические процессы в обществе, существует в сознании носителя языка, постоянно изменяясь в зависимости от его происхождения, возраста, принадлежности к социальной группе и жизненного опыта. Концепт получает свое языковое выражение в конкретной ситуации в процессе речевого взаимодействия между носителями языка. Значение отражает коммуникативно-прагматические аспекты концепта и формируется на основе его понятийного ядра, известного всем представителям общности.

**Список источников**

1. Брагина А.О., Шмульская Л.С. Вербализация концепта «старость» в произведениях И.С. Тургенева // Казанский вестник молодых ученых. 2019. С. 29-32.

2. Переслегина Е.Р. Смысловое наполнение концепта «женщина» в прозе Л. Петрушевской // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2022. С. 223-228.

3. Колесов В.В. Синергийные связи концептов // Гуманитарный вектор. 2019. С. 6-12.

4. Масленникова Е.Ю., Григорьева Ю.С. Репрезентация концепта KING в цикле романов Дж. Мартина «Песнь льда и пламени» // Научные исследования и инновации. 2021.С. 326-341.

5. Пименова М.В., Бодриков А.Б. Милитарные концепты в русской языковой картине мира (на примере концепта «воин») // Вестник Кемеровского государственного университета. 2019. № 4(80). С. 1131-1138.

6. Яо Жун. Концепт «печаль» в русском языковом сознании (на фоне сравнения с китайским концептом) // Гуманитарный вектор. 2019. С. 13-19.

7. Абдыкадырова С.Р., Назарова М.К. Корреляция понятий концепт, художественный концепт и межкультурный концепт // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. С. 110-114.

8. Борисенко Т.В. Гиперонимические концепты VS категориальный концепт // Вестник Московского государственного областного университета. 2022. С. 129-140.

9. Зырянова М.Н. К вопросу о типологии концептов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. № 4(19). 2019. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-tipologii-kontseptov/viewer (дата доступа: 20.03.23.)

10. Залевская А.А. Что там – за словом? Verbal culture of the humanity through the prism of ages. Materials digest of the LVIII International Research and Practice Conference and II stage of the Championship in philological sciences (London, July 18-July 23, 2013). London: IASHE, 2013. С. 28-31.

11. Краткий словарь когнитивных терминов. Е.С. Кубрякова, В.З. Демьянков, Ю.Г. Панкрац, Л.Г. Лузина / Под общей редакцией Е.С. Кубряковой. М.: Филологический факультет МГУ им. Ломоносова, 1997. С. 90-93.

12. Алефиренко Н. Ф. Спорные проблемы семантики: Монография. М.: Гнозис, 2005. 326 с.

13. Болдырев Н.Н. Когнитивная семантика. Введение в когнитивную лингвистику: курс лекций / Н.Н. Болдырев; М-во обр. и науки РФ, Тамб. гос. ун-т им. Г.Р. Державина, Рос. Ассоциация лингвистов-когнитологов. Изд. 4-еб испр. и доп. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2014. 236 с.

14. Маслова В.А. Введение в когнитивную лингвистику: Учебное пособие. М.: «Флинта» «Наука». 2004. С. 293 с.

15. Воркачев С.Г. Концепт счастья в русском языковом сознании: опыт лингвокультурологического анализа. Краснодар. 2002. 142 С. URL: https://studfile.net/preview/8286741/ (дата доступа: 20.03.23.)

16. Карасик В.И. Языковой круг: личность, концепты, дискурс. Волгоград: Перемена, 2002. 477 с.

17. Попова З.Д., И.А. Стернин. Семантико-когнитивный анализ языка. Монография. - Воронеж: изд-во «Истоки», 2007. 250 с.

18. Залевская А.А. Значение слова и живой поликодовый гипертекст // Вопросы психолингвистики. – 2013. - С. 8-19.

19. Залевская А.А. Значение слова в пространстве мозга, тела и окружения человека // Слово и текст: психолингвистический подход. - № 14. - 2014. - С. 31-35.

***Авторский коллектив***

*Алексеев А.В., Астраханцев Д.А., Гаврилов В.А., Гадуниев Р.Г., Грушина М.В., Гурьева К.Б., Гусева А.Д., Линева Е.А., Муртузов М.М., Овчинников А.Н., Овчинникова М.В., Пироженко Ю.А., Раздайбедин А.А., Сахарова А.В., Слизская Е.Н., Солдатова С.Ю., Ташпулатов Й.Ш., Филимонов В.Е., Чечеткин А.В., Шерназаров Ш.Ш.*

***НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ***

# СОВРЕМЕННАЯ НАУКА, ОБЩЕСТВО И ТЕХНОЛОГИИ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ

**Монография**

Под общей редакцией
кандидата экономических наук Г. Ю. Гуляева

Подписано в печать 12.12.2023.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 11,1
Тираж 500 экз.

МЦНС «Наука и Просвещение»
440062, г. Пенза, Проспект Строителей д. 88, оф. 10
www.naukaip.ru

ISBN 978-5-00236-124-3